

Universidade de Aveiro
2011

Departamento de Engenharia Civil

**Joaquim Edgar
Henriques da Silva**

**Práticas de projeto e construção orientadas pela
sustentabilidade**



Universidade de Aveiro
2011

Departamento de Engenharia Civil

**Joaquim Edgar
Henriques da Silva**

**Práticas de projeto e construção orientadas pela
sustentabilidade**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor Paulo Barreto Cachim, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Professora Doutora Margarida João Fernandes de
Pinho Lopes
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Helena Maria Dos Santos
Gervásio
professora auxiliar convidada Faculdade de Ciencias e
Tecnologia da Universidade de Coimbra

Professor Doutor Victor Miguel Carneiro De Sousa
Ferreira
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Paulo Barreto Cachim
professor associado da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer à minha namorada Tatiana por tudo, pelo apoio e motivação em todo este projeto e ao longo de todo o curso.

Aos meus pais, irmãos, avós e pais da Tatiana pelo apoio.

A todos os docentes que contribuíram para a minha formação.

Ao orientador e co-orientador: Professor Victor Ferreira e Professor Paulo Cachim pela orientação neste projeto.

À Engenheira Marisa Almeida e Engenheira Inês do Centro Tecnológico da Cerâmica e Vidro pela disponibilidade e ajuda na utilização do programa SimaPro.

À Professora Maria Fernanda Rodrigues pela disponibilidade e ajuda no cálculo das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento.

Palavras-chave

Avaliação ciclo de vida, materiais sustentáveis, construção modular e construção tradicional.

Resumo

A indústria da construção é responsável pelo consumo de grandes quantidades de energia, água e materiais, tornando-se, assim, necessário implementar medidas para minimizar os impactos ambientais resultantes da atividade da construção. Deste modo, é imprescindível adaptar as condições da indústria da construção de modo a que se torne mais eficiente em termos ambientais e energéticos.

Neste sentido, identificam-se três fatores importantes para a construção sustentável sendo eles: a utilização de materiais sustentáveis (“amigos” do ambiente), desempenho energético dos edifícios e a gestão dos resíduos de construção e demolição.

O objetivo principal deste trabalho consiste na elaboração de um estudo que permita a comparação da construção convencional com a construção modular, considerando os princípios da construção sustentável, aplicando uma ferramenta de avaliação de ciclo de vida.

A avaliação do ciclo de vida foi realizada em três fases, a fase “do berço à porta” (cradle-to-gate), seguindo-se a fase de utilização e, por último, a fase fim de vida.

Para ser possível tal estudo, definiu-se uma moradia unifamiliar de tipologia T3, criando-se variantes nos materiais estruturais, isolante térmico e local de implantação da habitação. Seguidamente procedeu-se à recolha dos impactos ambientais e energéticos dos diferentes materiais com auxílio do programa holandês SimaPro. Com os resultados obtidos foi possível determinar que a habitação em pinho nórdico é a solução mais adequada por apresentar valores de impactos na maioria das categorias de impacto ambiental e energético.

Keywords

Life cycle assessment, sustainable materials, modular construction and traditional construction.

Abstract

The construction industry is responsible for consuming large amounts of energy, water and materials, making it therefore necessary to implement measures to minimize the environmental impacts of construction activities. Thus, it is essential to adapt the conditions of the construction industry so that it becomes more efficient environmental and energy.

In this sense, it identifies three important factors for sustainable construction which are: the use of sustainable materials ("friendly" environment), energy performance of buildings and management of construction and demolition waste.

The main objective of this work is to draw up a study to allow for comparison with the conventional construction of modular construction, considering the principles of sustainable construction, using an assessment tool life cycle.

The life cycle assessment was conducted in three phases, the phase "from cradle to gate" (cradle-to-gate), followed by the use phase and finally, the end stage of life.

To be able to this study, we defined for a single family house T3, creating variants of structural materials, insulation, and site of the housing. Then proceeded to the collection of environmental and energy impacts of different materials with the aid of the Dutch program SimaPro. With the results obtained it was determined that the dwelling in Nordic pine is the most appropriate solution for presenting values impacts in most categories of environmental impact and energy.

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Preâmbulo	1
1.2.	Objetivos	3
1.3.	Motivação	3
2.	Materiais de construção sustentáveis	5
2.1.	Preâmbulo	5
2.1.1.	Materiais naturais	6
2.1.2.	Materiais transformados	10
2.2.	Seleção de materiais	14
2.3.	Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)	16
2.3.1.	Descrição	16
2.3.2.	Variantes da Avaliação do Ciclo de Vida	18
2.3.3.	Ferramentas de LCA	19
2.4.	Rotulagem Ecológica	21
2.5.	Declarações Ambientais de Produtos (DAP)	22
3.	Construção Modular	25
3.1.	História	25
3.2.	Conceito	31
3.2.1.	Processo construtivo	31
3.2.2.	Instrumentos para a estruturação	32
3.3.	Definição e tipologias	35
3.4.	Vantagens da construção modular	36
3.5.	Desvantagens da construção modular	38
3.6.	Sistemas de construção modular	38
3.6.1.	Classificação dos sistemas construtivos modulares	38
3.6.2.	Exemplos de sistemas modulares	41
4.	Estudo de caso, construção modular e seus materiais	49
4.1.	Descrição do caso de estudo	49
4.2.	Soluções construtivas em estudo	51
4.2.1.	Solução 1 - Construção tradicional com parede dupla	53
4.2.2.	Solução 2 - Construção tradicional com parede simples	55
4.2.3.	Solução 3 - Construção modular em pinho nórdico	58
4.2.4.	Solução 4 - Construção modular em contraplacado marítimo e OSB	60
4.2.5.	Solução 5 - Construção modular metálica	62
4.2.6.	Solução 6 - Construção modular em betão	64
4.3.	Metodologia aplicada	65
4.3.1.	Metodologia aplicada na avaliação dos impactes ambientais utilizando o método CML 2001	65
4.3.2.	Metodologia aplicada na avaliação dos impactes energéticos utilizando o método das Necessidades de Energia Acumulada (NEA)	68
4.4.	Resultados e discussão	69
4.4.1.	Resultados das massas totais de cada material para cada solução construtiva	69
4.4.2.	Resultados das necessidades de aquecimento e arrefecimento	70

4.4.3.	Resultados e justificação da metodologia de cálculo CML 2001	70
4.4.4.	Resultados e discussão da metodologia de cálculo do método das Necessidades de energia acumulada (NEA)	79
5.	Conclusões	85
	Referências bibliográficas	89

Índice de Figuras

Figura 1 - Condicionantes da construção sustentável.....	2
Figura 2 - Fases de ciclo de vida da construção sustentável (SILVA, 2008).....	2
Figura 3 - Aglomerado negro de cortiça expandida (ISOCOR, 2010).....	7
Figura 4 - Aglomerado composto, Corkconfort (WICANDERS, 2010).....	8
Figura 5 - Regranulado de cortiça negra (ISOCOR, 2010).....	8
Figura 6 - Aligeiramento de pisos habitacionais (Betão leve) (ISOCOR, 2010).....	8
Figura 7 - Aligeiramento de estruturas em parques de estacionamento subterrâneos (ISOCOR, 2010).....	9
Figura 8 - Enchimento de caixas de soalho para correção acústica e térmica (ISOCOR, 2010).....	9
Figura 9 - Construção em madeira (JULAR, 2010).....	10
Figura 10 – Ecocarat (INAX, 2007).....	11
Figura 11 - Tinta ecológica (BIOFA, 2010).....	12
Figura 12 - Energia consumida por processo de produção de aço de perfis laminados (GERVÁSIO et al., 2005).....	12
Figura 13 - Estágios do ciclo de vida do produto (adaptado (USEPA, 2006)).....	16
Figura 14 - Fases de uma LCA (adaptado da ISO 14040:1997).....	18
Figura 15 - Representação esquemática das fases de ciclo de vida incluídas em cada uma das três variantes da LCA (BRAGANÇA et al., 2011).....	18
Figura 16 - Coluna harmónica (FILHO, 2007).....	26
Figura 17 - Cidade de Emona (GREVEN et al., 2007).....	27
Figura 18 - Palácio de Cristal de Joseph Paxton, Londres 1851 (FILHO, 2007).....	28
Figura 19 - Estação Midland (ELONDRES.COM, 2011).....	28
Figura 20 - O Modulor de Le Corbusier (LISBOA, 2000).....	29
Figura 21 - "Unité d'Habitation" Marselha (WIKIPEDIA, 2011).....	29
Figura 22 - Uniformização geral das habitações (CASTELO, 2008).....	30
Figura 23 - Bairro operário Weissenhof (SÓ, 2011).....	30
Figura 24 - Sistema de referência (GREVEN et al., 2007).....	32
Figura 25 - Reticulado modular espacial de referência (GREVEN et al., 2007).....	32
Figura 26 - Quadriculado modular de referência (GREVEN et al., 2007).....	33
Figura 27 - Medida modular, junta modular e medida de projeto (GREVEN et al., 2007).....	34
Figura 28 - Comparação entre tempos de construção convencional vs construção modular (TAVARES, 2009).....	37
Figura 29 - Sistema de construção modular fechado (SOSA, 2009).....	39
Figura 30 - Sistema modular parcialmente aberto (SPACE, 2007).....	39
Figura 31 - Sistema modular aberto (RADZIBER, 2005).....	40
Figura 32 - Sistemas modulares de elementos construtivos (CENTURYSTEEEL, 2009) ...	40
Figura 33 - Sistemas mistos ou híbridos (LAWSON, 2007).....	41
Figura 34 - Sistema construtivo de paredes de madeira (BERCI, 2010).....	42
Figura 35 - Log Homes (HOMES, 2011).....	42
Figura 36 - Frame System (HOMES, 2011).....	43
Figura 37 - Pormenor de ligação da estrutura ao ensoleiramento (TÉKETO, 2010).....	44
Figura 38 - Pormenor construtivo de uma parede exterior (TÉKETO, 2010).....	45
Figura 39 - Pormenor construtivo de uma parede interior (TÉKETO, 2010).....	45

Figura 40 - Pormenor construtivo de uma cobertura inclinada (TÉKETO, 2010).....	45
Figura 41 - Pormenor construtivo de cobertura plana transitável (TÉKETO, 2010)	45
Figura 42 - Casa pré-fabrica com revestimento em granito (GRANIMINHO, 2010)	46
Figura 43 - Sistema WALLINBLOCK (ITECONS, 2010).....	47
Figura 44 – Spacebox (GAINSGROVE, 2004).....	48
Figura 45 - Transporte dos Módulos (SIT, 2011).....	48
Figura 46 - Planta da habitação	49
Figura 47 - Alçados da habitação	50
Figura 48 - Portugal continental. Zonas climáticas de inverno (AELENEI, 2008).....	50
Figura 49 - Portugal continental. Zonas climáticas de verão (AELENEI, 2008).....	50
Figura 50 - Parede dupla exterior em tijolo de alvenaria vazado.	53
Figura 51 - Parede interior simples de tijolo vazado.	54
Figura 52 - Cobertura inclinada de vara e ripa em betão.....	54
Figura 53 - Laje de esteira de vigotas e abobadilhas.	55
Figura 54 - Camadas constituintes do sistema ETIC (CONSTRULINK, 2007).....	56
Figura 55 - Cobertura plana invertida.....	57
Figura 56 - Laje de betão maciço	57
Figura 57 - Parede exterior dupla em pinho nórdico	58
Figura 58 - Parede interior dupla em pinho nórdico.....	58
Figura 59 - Cobertura inclinada em madeira maciça de vara e ripa	59
Figura 60 - Laje de esteira em pinho nórdico	59
Figura 61 - Laje de piso em betão armado e pavimento flutuante em pinho nórdico	60
Figura 62 - Parede exterior dupla em contraplacado marítimo e OSB.....	60
Figura 63 - Parede interior dupla em OSB	61
Figura 64 - Laje de piso em vigas de madeira	62
Figura 65 - Parede exterior em chapa galvanizada e gesso cartonado	62
Figura 66 - Parede interior em gesso cartonado	63
Figura 67 - Cobertura plana em aço leve.....	63
Figura 68 - Laje de piso com estrutura de suporte em vigas de aço.....	64
Figura 69 - Parede exterior em betão reforçado com fibra de vidro (SIT, 2011).....	64
Figura 70 - Cobertura plana em betão reforçado com fibra de vidro (SIT, 2011).....	65
Figura 71 - Impactes ambientais para o potencial de recursos abióticos (ADP) das soluções construtivas numa zona climática II V1	72
Figura 72 - Impactes ambientais para o potencial de acidificação (AP) das soluções construtivas numa zona climática II V1	73
Figura 73 - Impactes ambientais para o potencial de eutrofização (EP) das soluções construtivas numa zona climática II V1	74
Figura 74 - Impactes ambientais para o potencial de aquecimento global (GWP) das soluções construtivas numa zona climática II V1	75
Figura 75 - Impactes ambientais para o potencial de destruição da camada do ozono (OLP) das soluções construtivas numa zona climática II V1	76
Figura 76 - Impactes ambientais para o potencial de formação do ozono fotoquímico (POCP) das soluções construtivas numa zona climática II V1	77
Figura 77 – Energia consumida para as diferentes soluções construtivas na região II V1 em MJ eq.	80
Figura 78 – Energia consumida para as diferentes soluções construtivas na região II V1..	81
Figura 79 – Comparação de resultados da energia consumida para as diferentes soluções construtivas na região I3V3 e II V1.....	83

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Ferramentas que utilizam ACV em materiais e produtos.....	19
Tabela 2 - Exemplos de rótulos ecológicos	21
Tabela 3 - Programas DAP a nível mundial	24
Tabela 4 - Categorias de impacte ambiental e unidades de quantificação do CML 2001 (FERREIRA, 2004, MATEUS, 2009).....	66
Tabela 5 - Categorias de impacte ambiental e unidades pelo método NEA (MATEUS, 2009).....	68
Tabela 6 - Massas totais dos materiais para cada solução construtiva	69
Tabela 7 - Necessidade nominais de aquecimento e arrefecimento em MJ para a zona climática I1V1	70
Tabela 8 - Necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento em MJ para a zona climática I3V3	70
Tabela 9 - Desempenho ambiental da solução 1 na zona climática I1V1	71
Tabela 10 - Desempenho ambiental da solução 2 na zona climática I1V1	71
Tabela 11 - Desempenho ambiental da solução 3 na zona climática I1V1	71
Tabela 12 - Desempenho ambiental da solução 4 na zona climática I1V1	71
Tabela 13 - Desempenho ambiental da solução 5 na zona climática I1V1	71
Tabela 14 - Desempenho ambiental da solução 6 na zona climática I1V1	71
Tabela 15 - Desempenho ambiental da solução 1 na zona climática I3V3	78
Tabela 16 - Desempenho ambiental da solução 2 na zona climática I3V3	78
Tabela 17 - Desempenho ambiental da solução 3 na zona climática I3V3	78
Tabela 18 - Desempenho ambiental da solução 4 na zona climática I3V3	78
Tabela 19 - Desempenho ambiental da solução 5 na zona climática I3V3	78
Tabela 20 - Desempenho ambiental da solução 6 na zona climática I3V3	78
Tabela 21 - Desempenho energético da solução 1 para a zona climática I1V1	79
Tabela 22 - Desempenho energético da solução 2 para a zona climática I1V1	79
Tabela 23 - Desempenho energético da solução 3 para a zona climática I1V1	79
Tabela 24 - Desempenho energético da solução 4 para a zona climática I1V1	80
Tabela 25 - Desempenho energético da solução 5 para a zona climática I1V1	80
Tabela 26 - Desempenho energético da solução 6 para a zona climática I1V1	80
Tabela 27 - Desempenho energético da solução 1 para a zona climática I3V3	82
Tabela 28 - Desempenho energético da solução 2 para a zona climática I3V3	82
Tabela 29 - Desempenho energético da solução 3 para a zona climática I3V3	82
Tabela 30 - Desempenho energético da solução 4 para a zona climática I3V3	82
Tabela 31 - Desempenho energético da solução 5 para a zona climática I3V3	82
Tabela 32 - Desempenho energético da solução 6 para a zona climática I3V3	83

Lista de Acrónimos

ACV	Avaliação Ciclo de Vida
AP	Acidification Potential (Potencial de acidificação)
ADP	Abiotic depletion Potential (Potencial de recursos abióticos)
CML	Centre of Environmental Science
DAP	Declarações Ambientais de Produto
ENR	Energia Não Renovável
EP	Eutrophication Potential (Potencial de eutrofização)
eq.	Equivalente
EPS	Expanded Polystyrene (Poliestireno expandido)
ER	Energia Renovável
ETICS	External Thermal Insulation Composite System (Sistema de isolamento térmico pelo exterior)
GWP	Global Warming Potential (100 Anos) (Potencial de aquecimento global)
ISO	International Organization for Standardization
NEA	Necessidade Energéticas Acumuladas
OLD	Ozone Layer Depletion (40 Anos) (Potencial da destruição da camada de ozono)
OSB	Oriented Strand Board (Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas)
POCP	Photochemical Oxidation Potential (Potencial da formação de ozono fotoquímico)
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
XPS	Extruded polystyrene (Poliestireno expandido extrudido)

Lista de unidades

KWh/m².ano	Kilowatt hora por metro quadrado por ano
Kg	Kilograma
Km	Kilómetro
m	Metro
m²	Metro quadrado
MJ	Mega Joule
t	Tonelada
tkm	Tonelada por kilómetro

1. INTRODUÇÃO

1.1. Preâmbulo

Atualmente o homem preocupa-se em tentar manter as condições de vida humana do planeta. As gerações vindouras necessitam de ter os recursos naturais, água potável, solos férteis, ar puro, entre outros, para a sua sobrevivência porque estes recursos não são infinitamente inesgotáveis.

O setor da construção civil é um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais, ou seja, devido ao facto de implicar um grande recurso à extração de matérias-primas. Para além disso outro fator que contribui em grande parte para o aumento do impacto ambiental é a fase de produção pois, para tal, é necessário o uso de grandes quantidades de energia provindas de fontes não renováveis.

No entanto, para o bem do planeta torna-se imperativo a substituição de energia de fontes não renováveis pela energia de fontes renováveis. A título de exemplo energia solar, eólica, entre outras.

Em contrapartida, sabe-se que só por si a fase de utilização é considerada como o maior responsável dos gastos energéticos na construção ao longo do ciclo de vida, provocando grandes impactos ambientais.

Sabe-se que a seleção de produtos económicos e viáveis do ponto de vista ambiental não é tarefa fácil. No entanto, é fundamental que se pense, cada vez mais nos desperdícios que são gerados por obras mal projetadas e/ou executadas, mas também, no uso de tecnologias inadequadas, que causam grandes danos na natureza.

Uma das soluções é ter em atenção a reciclagem e eficiência energética dos materiais e reutilização da matéria-prima.

A consciencialização do ser humano para garantir a sobrevivência das gerações vindouras levou ao surgimento de um novo conceito, a construção sustentável.

Segundo Brundtland o desenvolvimento sustentável tem por base o uso dos recursos existentes de modo a não comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras.

O relatório desta mesma autora foi imprescindível para a mudança dos padrões existentes, sendo o desenvolvimento sustentável entendido como o equilíbrio entre três condicionantes: ambiental, económica e social (figura 1).



Figura 1 - Condicionantes da construção sustentável

A condicionante sustentabilidade ambiental baseia-se na avaliação dos impactes da construção no meio ambiente. Para esta avaliação dos impactes ambientais são utilizados: o potencial de aquecimento global, potencial de reciclagem, potencial de reutilização, toxicidade dos materiais e consumo de água.

A avaliação deve ser efetuada para a totalidade do ciclo de vida da habitação.

A condicionante sustentabilidade económica traduz os custos associados à construção no ciclo de vida, custos dos materiais, custos da construção, custos da utilização, custos de renovação ou reabilitação, custos de demolição e custos de reciclagem ou reutilização.

Por fim, a condicionante sustentabilidade social traduz a avaliação do desempenho dos vários elementos construtivos da construção quanto às suas exigências funcionais (comportamento térmico, acústico, durabilidade, entre outros).

Os princípios da construção sustentável devem ser aplicados na globalidade do ciclo de vida da construção iniciando-se na fase de projeto, passando pela fase de extração e produção, fase de utilização e manutenção e finalizando na fase de demolição (figura 2).

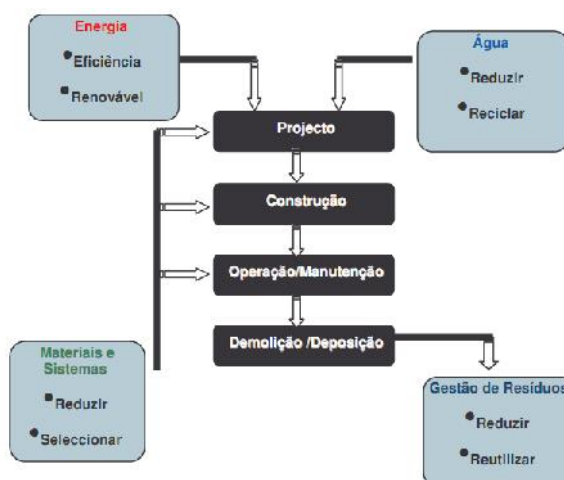


Figura 2 - Fases de ciclo de vida da construção sustentável (SILVA, 2008)

Contudo, é de salientar que a construção sustentável tem vindo a aumentar a nível mundial, e também tem servido de estratégia de marketing para produtores de produtos.

Com esta evolução na construção foi necessário criar ferramentas para a avaliação destes impactes em todas as fases do ciclo de vida da construção.

Com a obtenção de resultados concretos existe uma maior facilidade de sensibilizar todos os intervenientes na construção civil para que em construções futuras tenham a sensibilidade nas escolhas a efetuar e para que seja possível contribuir para um desenvolvimento sustentável do planeta.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é identificar os impactes ambientais e energéticos de vários exemplos de soluções construtivas tradicionais e modulares numa perspetiva de ciclo de vida.

O estudo é realizado considerando três fases do ciclo de vida da habitação, fase do “berço à porta”, fase de operação e fase de fim de vida dos materiais e produtos.

A habitação varia nos materiais de suporte e restantes elementos construtivos, nos isolamentos térmicos e respetivas espessuras, no local da implantação da habitação, identificando assim quais as alterações a fazer nas diversas soluções e definir a solução ideal.

Espera-se que este trabalho sirva como suporte para a conceção de edifícios mais sustentáveis e permita mostrar a futuros interessados quais as vantagens e desvantagens a nível de desempenho ambiental e energético das construções modulares em oposição às construções convencionais.

1.3. Motivação

As construções tradicionais utilizam grandes quantidades de materiais, que normalmente são materiais transformados. As transformações dos materiais implicam um gasto energético muito elevado, assim sendo, é fundamental passar para opções de materiais que contenham uma energia incorporada mais reduzida e, que em menores quantidades de materiais se consiga respeitar todas as normas estabelecidas.

A construção modular é uma boa solução para reduzir a quantidade de materiais utilizados, assim sendo passa-se a uma grande redução de extração de matérias primas e uma diminuição de gasto no processo de produção.

A grande motivação deste trabalho é ajudar a tornar a construção mais saudável com a escolha de materiais que apresentem menores impactes ambientais e energias incorporadas e soluções construtivas que, apesar de saudáveis, respeitem todas as normas correspondentes.

Uma construção não é considerada sustentável apenas se apresentar impactes ambientais reduzidos, mas também se os custos finais da habitação forem reduzidos.

2. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS

2.1. Preâmbulo

Os materiais de construção sustentáveis podem ser designados por materiais “amigos do ambiente” (TORGAL et al., 2007). Estes materiais apresentam um impacto ambiental reduzido relativamente aos materiais de construção tradicionais devido às baixas necessidades de transformação (TORGAL et al., 2010). A extração de recursos não é o único fator a ter em causa, sendo também não menos importantes os impactos da fabricação e os impactos dos materiais relativamente à qualidade do ar interior.

Segundo (KIBERT, 2008), “Os materiais básicos da construção e os produtos de construção mudaram ao longo do tempo, de relativamente simples, localmente disponíveis, naturais, e minimamente processados, para uma combinação de produtos sintéticos e produtos que envolvem a engenharia, especialmente utilizados nas construções institucionais e comerciais.”

Outrora, as construções envolviam apenas materiais que compreendiam pouca tecnologia, como por exemplo a madeira e a pedra, entre outros. No entanto, estes apresentavam dificuldades relativamente à desconstrução destes edifícios e à reciclagem dos materiais utilizados.

Hoje em dia, estes materiais podem provir de outros recursos até mesmo não provenientes da natureza, tais como os materiais sintéticos e processados, apresentando estes uma maior facilidade quanto à desconstrução e reciclagem dos mesmos.

Para além disso, pode fazer-se ainda referência ao facto de que muitos dos materiais provenientes da natureza podem ser menos “amigos” da natureza, pois, requerem outros gastos, tais como, grandes quantidades de energia, água, e outros produtos químicos. Por sua vez, o plástico reciclável pode ser mais “amigo” do ambiente devido à sua fácil reutilização.

Alguns materiais sustentáveis para além de serem benignos para o meio ambiente ainda trazem vantagens para a ecoesfera, como o exemplo dos materiais atóxicos. Estes, são materiais que provêm de recursos renováveis e que necessitam de baixas quantidades de energia e água para a sua manufatura e são isentas de emissões tóxicas (FERREIRA et al., 2006).

Existem muitos materiais sustentáveis, e estes podem ser distinguidos em dois grupos, os materiais naturais e os materiais transformados. De seguida serão descritos apenas alguns dos materiais mais utilizados na construção, sendo estes dispostos no seu respetivo grupo.

2.1.1. Materiais naturais

No caso da **cortiça**, é um material que se encontra em grande abundância em Portugal, cerca de 23% do total de área florestal, e que apresenta excelentes características para a construção civil. A cortiça é uma matéria prima natural, renovável, reciclável e biodegradável, ecológica, leve, impermeável, compressível, resistente ao desgaste e ao atrito, elástica, e apresenta um bom comportamento térmico, acústico e ao fogo.

Esta é constituída por compostos químicos, sendo, 45% de suberina, 27% de lenhina, 12% de polissacarídeos, 10% de ceroides e 6% de tanino (GIL, s.d).

- A suberina, um polímero misto constituído por ácidos gordos de cuja despolimerização resultam fenólicos e gliceróis composto hidrófobo, insolúvel mas saponificável por bases fortes. Material utilizado no fabrico de látex, tintas e vernizes.
- A lenhina, um polímero cuja função é conferir rigidez às fibras celulósicas e à parede celular. Resíduo da despolimerização da suberina, utilizado no fabrico de colas.
- Os polissacarídeos, polímeros derivados de celulose que tem função de suporte, tal como a lenhina.
- Os ceroides que contribuem com a suberina para a impermeabilização das membranas são obtidos do cozimento a vapor do aglomerado negro e aplicados em parafinação, látex e papel.
- Os taninos são compostos fenólicos hidrosolúveis ou condensados, mas também substâncias fenólicas simples. Encontram-se nos resíduos líquidos dos aglomerados negros e na cortiça virgem ou de fraca qualidade. São inibidores de corrosão, fungicidas e são utilizados também na produção de tintas e colas (BERGE, 2000).

Existem dois tipos de produtos que podem ser aplicados na construção civil sendo eles o aglomerado de cortiça expandida e o regranulado de cortiça expandida.

O aglomerado de cortiça expandida (figura 3) é um produto que provém da poda e da limpeza dos sobreiros, ou seja, não provoca qualquer tipo de dano ou abate, não aumentando desta forma o impacto ambiental.

Estes são materiais compactos produzidos dos grânulos de cortiça. Podem apresentar-se como simples ou compostos.

Os aglomerados simples, podem ser produzidos com ou sem ligante, e são designados de aglomerados negros de cortiça expandida. Estes aglomerados expandem sobre a ação do vapor de água e, para a produção de vapor de água é utilizada apenas biomassa. O aglutinante dos grânulos é a sua própria resina. Não são utilizados quaisquer tipo produtos sintéticos neste processo de produção, tornando este produto amigo do ambiente, ecológico e sustentável (EIRES, 2006, GIL, s.d).

Este produto apresenta várias soluções de aplicação, como por exemplo, isolamento acústico, isolamento de coberturas inclinadas, isolamento de coberturas planas, isolamento térmico e acústico de paredes, isolamento de pisos radiantes, isolamento de estruturas de betão, isolamento pelo exterior (fachadas), isolamento acústico e vibrátil (GIL, s.d, MASCARENHAS et al., 2008)



Figura 3 - Aglomerado negro de cortiça expandida (ISOCOR, 2010)

Os aglomerados compostos (figura 4) obtêm-se pela aglutinação do grânulo com um ligante sob a ação conjunta de pressão e elevadas temperaturas e, com a adição de alguns aditivos.

Para a sua produção são usados fundamentalmente ligantes sintéticos como resinas sintéticas com poliuretano, resinas fenólicas, cardólicas ou melamínicas.

Para obter o produto final dos aglomerados compostos pode-se sobrepor várias camadas coladas com PVA (poliacetato de vinilo) e envernizar ou adicionar películas na camada de acabamento (EIRES, 2006).



Figura 4 - Aglomerado composto, Corkconfort (WICANDERS, 2010)

O regranulado de cortiça (figura 5) é um produto que provém do processo de transformação da cortiça resultam diversos subprodutos, como as aparas, restos de cortiça, pó de cortiça, entre outros. De seguida, com um processo de trituração, obtêm-se vários grânulos de dimensões e características distintas.



Figura 5 - Regranulado de cortiça negra (ISOCOR, 2010)

As características granulométricas e massa volúmica são classificadas de acordo com a Norma Portuguesa NP 114 (EIRES, 2006).

O regranulado como o aglomerado apresenta também várias soluções de aplicação, sendo estas, incorporação direta no betão (betão leve), aligeiramento de estruturas em parques de estacionamento subterrâneos e enchimento de caixas de soalho para correção acústica e térmica.

As figuras 6 a 8 apresentam esquemas representativos das diversas aplicações.

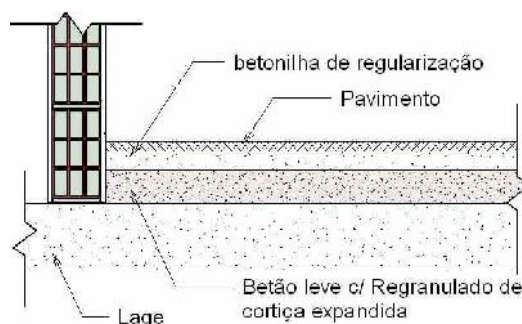


Figura 6 - Aligeiramento de pisos habitacionais (Betão leve) (ISOCOR, 2010)

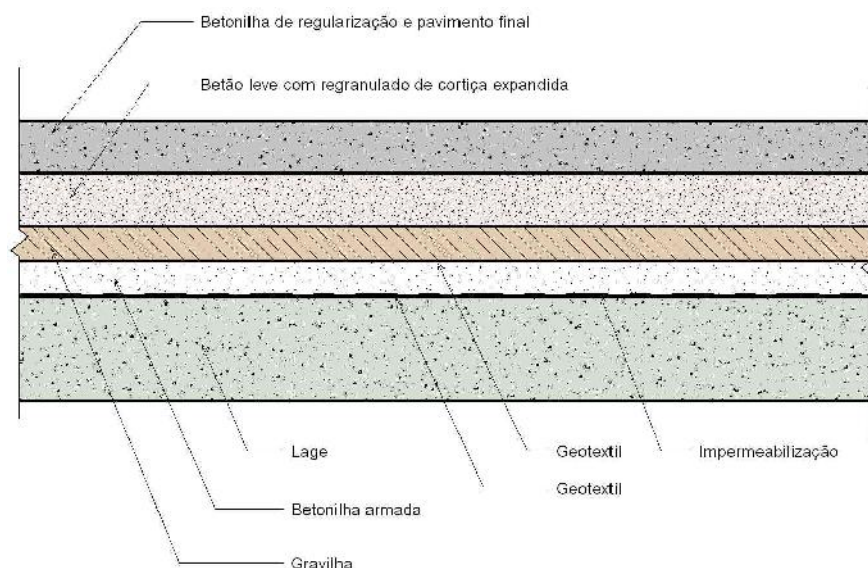


Figura 7 - Aligeiramento de estruturas em parques de estacionamento subterrâneos (ISOCOR, 2010)

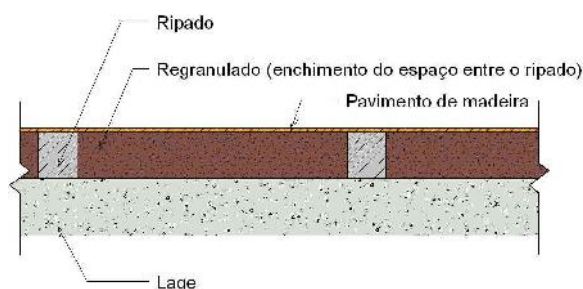


Figura 8 - Enchimento de caixas de soalho para correção acústica e térmica (ISOCOR, 2010)

Quanto à **madeira** (figura 9), é um produto que existe em grande quantidade na crosta terrestre, sendo um produto com grande uso na construção.

A madeira é um recurso natural, renovável e reciclável quando a floresta é gerida de forma sustentável. Esta contribui para um melhor ambiente já que possui capacidades de absorção de dióxido de carbono e, mesmo quando este produto é transformado mantém armazenado o dióxido de carbono absorvido. Podendo-se mesmo afirmar que é um dos materiais que necessita de menos energia de produção (apenas terra, água e radiação solar).

No que diz respeito ao conforto térmico, a madeira apresenta um bom coeficiente térmico, sendo então utilizado como isolante térmico na construção (CACHIM, 2007)

O uso da madeira na construção traz uma vasto leque de benefícios pois é um material com uma boa expressão estrutural, beleza natural, fácil de trabalhar, saudável, seguro, leve, forte e durável e, apresenta uma vasta gama de soluções de engenharia.

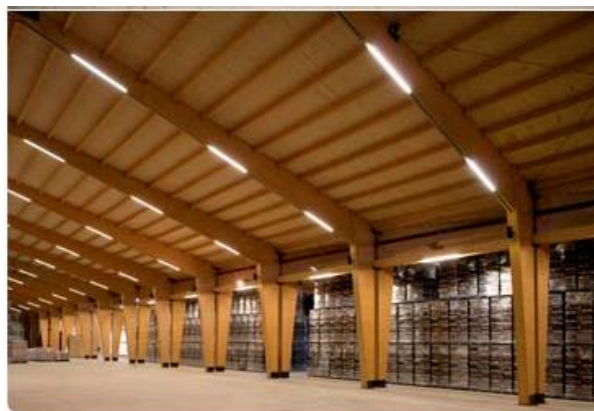


Figura 9 - Construção em madeira (JULAR, 2010)

2.1.2. Materiais transformados

Materiais transformados são definidos como materiais de origem natural que sofrem alterações através de processos físicos e/ou químicos de transformação.

Seguidamente serão apresentados exemplos de materiais transformados.

A **cerâmica** é composta essencialmente por argila. Esta matéria-prima tem a capacidade de se formar apenas com o apoio de água e calor. Apresenta características aceitáveis ou mesmo boas para aplicações na construção como abrasão, resistência à compressão e tração, impermeabilização, entre outros.

Grande parte das cerâmicas planas utilizadas na construção possuem características técnicas superiores ao que o seu uso exige, obrigando no seu fabrico a um elevado consumo de matérias-primas e energia.

Foi desenvolvido no Japão um produto cerâmico que se ajustasse às exigências do uso na habitação, o ecocarat (INAX, 2007). O ecocarat (figura 10) é um produto cerâmico produzido a baixas temperaturas por solidificação hidrotérmica (endurecimento por humidade e calor controlados). As temperaturas de produção são entre 500 e 900°C, muito abaixo das temperaturas habituais (CUCHÍ et al., 2003).

A cerâmica no fim do seu ciclo de vida é normalmente utilizado como agregados nos betões (RICKEN et al., 2008).



Figura 10 – Ecocarát (INAX, 2007)

Relativamente aos **vernizes e pinturas naturais** (figura 11), sabe-se que há já algumas décadas existem produtos inofensivos para o meio ambiente. Sendo eles fabricados utilizando baixas quantidades de energia incorporada, recursos naturais e biodegradáveis tal como, azeites e resinas vegetais (madeira, linhaça, tung, colofónica, etc), evitando-se assim os solventes orgânicos, provindos de derivados do petróleo. Em alternativa passou-se a usar solventes que têm origem na combinação de extratos de casca de frutos cítricos destilada, azeites balsâmicos e outras substâncias de origem natural. Mas também produtos oleosos, resinosos, gordurosos ou sebáceo, tendo estes a característica de serem produtos não tóxicos (CUCHÍ et al., 2003).

O uso destes produtos não interfere na qualidade do ar interior, porque não ocorre a evaporação de solventes orgânicos devido à sua inexistência. Para além disso são mais saudáveis porque possibilitam que os edifícios respirem eliminando assim a possibilidade da formação de condensações e fungos (BIOFA, 2010).

Estas tintas e vernizes naturais são aplicados com boas garantias sobre diversos suportes, como exemplo, sobre a madeira, cortiça, cerâmica, betão, entre outros. Apresentando assim características idênticas aos produtos sintéticos referidos anteriormente.



Figura 11 - Tinta ecológica (BIOFA, 2010)

Quanto aos **metais**, são materiais que apresentam uma elevada capacidade de serem reciclados e reutilizados em novos produtos na construção.

O grupo dos metais pode ser dividido em dois subgrupos os metais ferrosos (ex. aço) e os metais não ferrosos (ex. alumínio).

Existem dois métodos de produção de **aço**, a produção em alto-forno e a produção em forno de arco-elétrico. O primeiro utiliza entre 25% a 30% de aço usado para o fabrico de novo, e o forno em arco-elétrico utiliza como matéria-prima para a produção de aço novo quase 100% de produtos de aço usados (KIBERT, 2008).

A produção de aço em forno de arco-elétrico apresenta também como vantagem relativamente ao alto-forno necessitar de quantidades de energia mais baixas para a produção de aço. Segundo Gervásio (2005), a produção de aço em alto forno necessita de 29 GJ por tonelada de aço e a produção de aço em forno de arco-elétrico necessita de 10 GJ como mostra a figura 12 (GERVÁSIO et al., 2005).

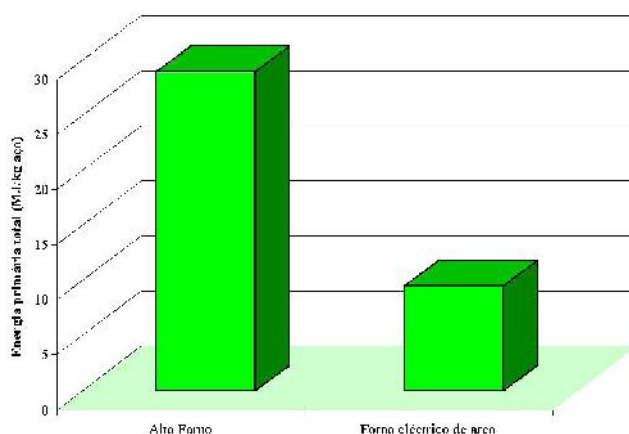


Figura 12 - Energia consumida por processo de produção de aço de perfis laminados (GERVÁSIO et al., 2005)

O forno de arco elétrico apresenta emissões de carbono e de outras partículas inferiores para as percentagens de aço reciclado utilizado no processo de produção descritos anteriormente. Por cada tonelada de aço reciclado poupa-se 1,25 toneladas de minério de ferro, 630 kg de carvão e 54 kg de calcário. Para além disso, a mesma quantidade de aço através do processo de reciclagem necessita de uma menor quantidade de energia, produz menos resíduos e emite menos partículas poluentes do que o aço 100% não reciclado (GERVÁSIO et al., 2005).

A produção de **alumínio** implica gastos energéticos muito elevados, cerca de 126 vezes superior à madeira (LEAL, 2006).

Com a reciclagem de alumínio, reduz-se muito o impacto ambiental porque para transformar o alumínio usado em alumínio novo apenas se utiliza 5% de bauxite do total de bauxite utilizada na produção de alumínio não reciclado e este valor implica reduções de 95% de emissões de gases para a atmosfera (KIBERT, 2008).

O **vidro** é um material muito utilizado na construção e segundo (A. Cuchí, *et al.*, 2003) “Na Europa geram-se anualmente cerca de 1.2 milhões de toneladas de resíduo de vidro plano, provenientes da demolição e reabilitação de edifícios, que quase não são reciclados devido às dificuldades que existem para o separar de outros materiais colados”.

Com a reciclagem do vidro usado, produz-se vidro novo mas com um gasto de recursos e de energia de produção muito menores que a produção de vidro novo a partir dos recursos “virgens”, assim reduz-se o impacto ambiental porque são retiradas menos matérias-primas da crosta terrestre.

Um outro material usado com bastante abundância na construção é o **plástico**. Este material é produzido com recurso a petróleo, designando-se este como uma matéria-prima esgotável, mas como vantagem apresenta uma excelente capacidade de ser reciclado e reutilizado.

Os materiais plásticos são separados em duas categorias diferentes, ou seja, os termoplásticos e os plásticos termo-endurecíveis. Os primeiros são materiais que podem ser moldados com recurso a calor como exemplo do PVC e os termo-endurecíveis são materiais que só adquirem a forma com a mistura de endurecedores (TORGAL et al., 2010).

Relativamente à reciclagem e reutilização deste material, os termoplásticos podem ser reutilizados e moldados novamente com recurso a calor para novas aplicações, e os termoendurecíveis, podem ser triturados e aglomerados.

A reciclagem de polímeros termoplásticos muitas vezes não é economicamente viável por apresentar baixo preço e baixa densidade. Apenas os plásticos consumidos em massa (por exemplo os polietilenos) são economicamente viável para a reciclagem (GORNI, 2003).

Quanto ao impacto ambiental, sabe-se que os plásticos não são materiais biodegráveis e para tratar estes materiais no fim do seu ciclo de vida implica a emissão de grandes quantidades de gases tóxicos para o meio ambiente.

Para finalizar o assunto dos materiais sustentáveis, resta referir o **betão**, material utilizado na construção desde há muitas décadas. No fim de vida das construções após demolição o betão era considerado única e simplesmente como um resíduo, mas na atualidade olha-se para o betão de forma diferente, como sendo um substituto aos agregados pétreos naturais utilizados na composição do betão. O betão é submetido a uma trituração em diversas dimensões de grânulos e aplicados como constituintes de betão novo.

Desta forma reduz-se a percentagem de extração de materiais naturais da crosta terrestre o que implica a uma diminuição do impacto ambiental.

2.2. Seleção de materiais

Até à atualidade a seleção dos materiais tem tido apenas em conta apenas a sua funcionalidade, a rapidez de construção e o custo.

Os projetistas cada vez mais têm de ter uma visão mais racional quanto à seleção porque, habitualmente apenas utilizam como critérios, a durabilidade, a maneabilidade, as resistências mecânicas, as resistências às ações externas como o fogo, a biodegradação e a humidade, o aspeto, custos e disponibilidade (BERGE, 2000, EIRES, 2006).

A escolha de materiais é muito importante para tornar um edifício “verde” bem como a sua utilização, desta forma, existem estratégias de redução do impacto ambiental sendo estas, a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção, materiais recicláveis, materiais com baixa energia incorporada, materiais provenientes de fontes renováveis e materiais mais duráveis, redução do uso de materiais, reutilização de componentes da construção, utilização de produtos produzidos localmente (KIBERT, 2008, TORGAL et al., 2007).

Esta seleção deve preferencialmente ser efetuada de uma forma mais global ao longo do seu ciclo de vida e, tendo em conta as diferentes fases globais de uma construção, sendo estas, a fase de pré-construção ou processo de manufaturação ou produção dos produtos, a fase de construção e utilização, incluindo a manutenção e reparação e a fase pós-construção.

Na fase de pré-projecto é onde são tomadas as maiores decisões quanto à seleção de materiais, elementos construtivos, entre outros, tornando esta fase a de maior importância.

Na fase de pré-construção, deve-se optar por:

- Materiais pouco processados ou com processo de fabrico simples de forma a reduzir a produção de resíduos;
- Materiais e processos de fabrico com um menor consumo de energia;
- Materiais e produtos que utilizem matérias-primas naturais ou de recursos renováveis;
- Materiais e produtos menos poluentes, quer gases nocivos quer produtos químicos para a natureza;
- Materiais locais, reduzindo o consumo relacionado com o transporte;
- Materiais que incorporem resíduos e aproveitamento da energia incorporada.

Relativamente à fase de utilização, deve-se optar por:

- Materiais que não libertem produtos tóxicos de modo a garantir uma boa qualidade do ar interior;
- Materiais que tenham um bom desempenho energético, de forma a reduzir o consumo energético na utilização do edifício;
- Materiais mais duráveis, garantido assim menos manutenção e reparação.

Por último, na fase pós-construção em função dos resíduos obtidos, deve-se optar pelos seguintes critérios:

- Avaliação da biodegradabilidade do material;
- Materiais mais recicláveis, sendo estes aproveitados para a produção de novos produtos.

Esta seleção só pode ser feita pelo conhecimento adquirido na área da sustentabilidade de materiais e com a utilização de ferramentas baseadas em Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (BERGE, 2000, EIRES, 2006).

2.3. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

2.3.1. Descrição

A avaliação de ciclo de vida (ACV) ou “Life Cycle Assessment” (LCA) é metodologia de suporte para avaliação do impacto ambiental dos materiais e produtos no final do seu ciclo de vida. Esta avaliação é feita desde a extração das matérias primas, a produção, a distribuição e utilização e seu destino final e transporte associado a cada etapa (COELHO et al., 2010, IAPMEI, 2010).

A figura 13 apresenta os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa LCA e as entradas e saídas.

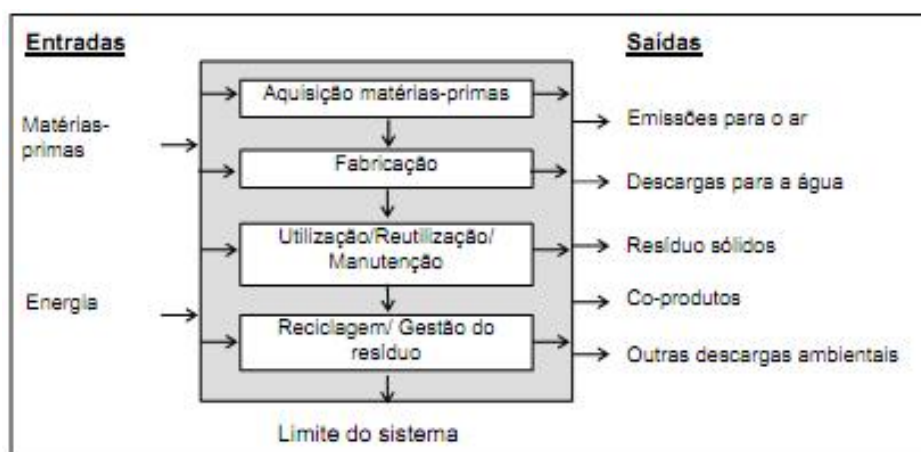


Figura 13 - Estágios do ciclo de vida do produto (adaptado (USEPA, 2006))

Este método permite que se faça uma avaliação de impacto ambiental e energética e que se implemente medidas para melhorar o desempenho ambiental das nossas construções.

O método LCA já se encontra normalizado desde fins dos anos 90, pela Organização Internacional de Normalização (ISO). Em 1992 a ISO criou um comité técnico (TC207/SC 5) e criou até ao momento as seguintes normas (BRAGANÇA et al., 2011, FERREIRA, 2004, STANDARDIZATION, 2006):

ISO 14040: 1997	Environmental management – life cycle assessment – principles and Framework
-----------------	---

ISO 14041: 1998	Environmental management – life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis
ISO 14042: 2000	Environmental management – life cycle assessment – life cycle assessment
ISO 14043: 2000	Environmental management – life cycle assessment – life cycle interpretation
ISO/TR 14049: 2000	Environmental management – Life cycle assessment – examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis
ISO/TR 14048: 2002	Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format
ISO/TR 14047: 2003	Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14042
ISO 14040:2006	Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
ISO 14044:2006	Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

As duas últimas são uma revisão das seguintes normas: ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e a ISO 14043:2000.

Segundo as normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 a implementação de uma LCA (figura 14) é realizada em quatro fases distintas:

- **Definição do Objetivo e do Âmbito** – Define e descreve o produto, processo ou atividade. Estabelece o contexto no qual a avaliação é para ser feita e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação;
- **Inventário de Ciclo de Vida** – Identifica e quantifica a energia, água e materiais utilizados e descargas ambientais (ex: emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos);
- **Avaliação dos Impactes de Ciclo de Vida** – Analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, e materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário;

- **Interpretação** – Avalia os resultados da análise de inventário e análise de impacto para selecionar o produto preferido, processo ou serviço com uma compreensão clara das incertezas e suposições utilizadas para gerar os resultados (FERREIRA, 2004).

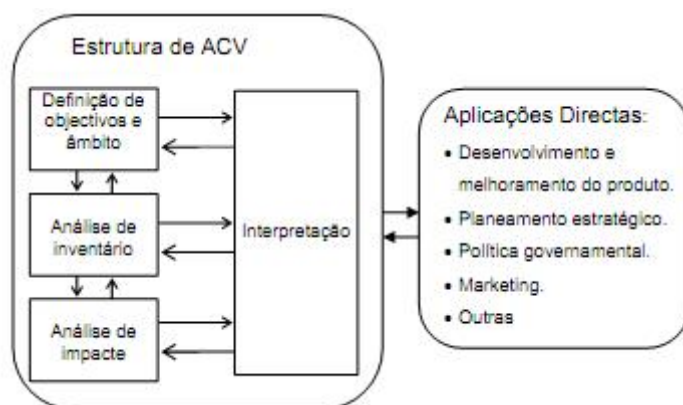


Figura 14 - Fases de uma LCA (adaptado da ISO 14040:1997)

2.3.2. Variantes da Avaliação do Ciclo de Vida

Existem três variantes na Avaliação de Ciclo de Vida (figura 15) que são estudadas, sendo estas: **cradle-to-grave** ("do berço ao túmulo"), **cradle-to-gate** ("do berço à porta") e **cradle-to-cradle** ("do berço ao berço").

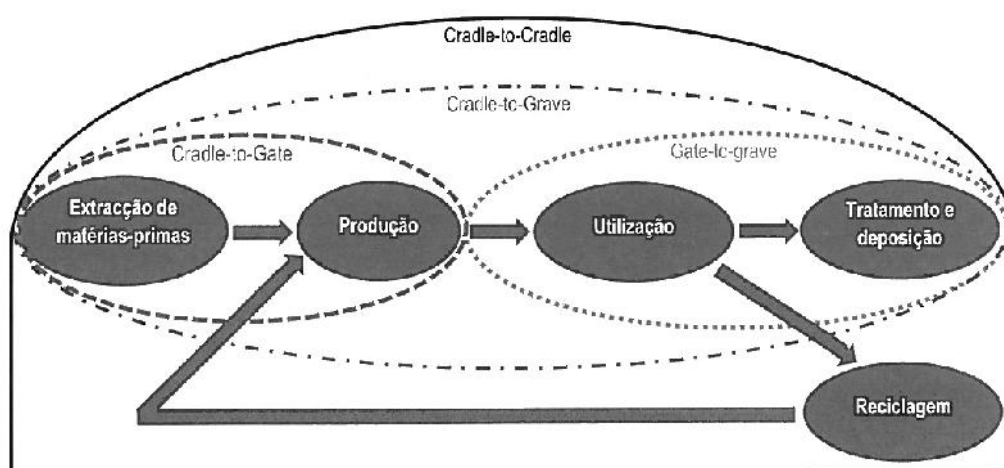


Figura 15 - Representação esquemática das fases de ciclo de vida incluídas em cada uma das três variantes da LCA (BRAGANÇA et al., 2011)

Como se pode ver na figura 15 a variante cradle-to-gate engloba da extração (“berço”) à produção (“porta”), e inclui os todos os processos de transporte até ao consumidor. A cradle-to-grave engloba todo o processo de vida do produto, da extração (“berço”) à deposição (“túmulo”) e por fim o cradle-to-cradle corresponde à reciclagem dos produtos que assim o permitam (BRAGANÇA et al., 2011).

2.3.3. Ferramentas de LCA

Existe a nível mundial várias ferramentas informáticas de avaliação de ciclo de vida de materiais e produtos, sendo estas apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Ferramentas que utilizam ACV em materiais e produtos

Ferramenta	País
BEES	EUA
BRE. Invest	Reino Unido
ATHENA	Canadá
ECO-QUANTUM	Holanda
SimaPro	Holanda
GaBi	Alemanha

Os diversos programas apresentam várias categorias de impactos ambientais que são utilizadas na avaliação de ciclo de vida, nomeadamente (ALTHAUS et al., 2007, MATEUS, 2009, TORGAL et al., 2010).

- **Potencial de recursos abióticos;**

O potencial de recursos abióticos relaciona-se com a extração de minerais e combustíveis fósseis. A unidade funcional é kg SB eq (MATEUS, 2009, MONTEIRO et al., 2011).

- **Potencial de aquecimento global;**

O potencial de aquecimento global foi desenvolvido pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e relaciona-se com a emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera. Este potencial tem como unidades, kg CO²-eq (ALTHAUS et al., 2007, FERREIRA, 2004).

- **Potencial de redução da camada de ozono;**

Desenvolvido pela WMO (World Meteorological Organization) para substâncias que contribuem para a destruição da camada do ozono. Este

potencial é expresso em kg CFC-11-eq (ALTHAUS et al., 2007, FERREIRA, 2004).

- **Potencial de formação de ozono fotoquímico;**

Este impacto é desenvolvido devido à formação de ozono na troposfera devido à oxidação de compostos orgânicos voláteis (COV's) e monóxido de carbono na presença de óxidos de azoto e radiação ultravioleta.

A utilização de solventes orgânicos tal como, a utilização de combustíveis fósseis, são os principais causadores da emissão do ozono fotoquímico. É expresso em kg CFC-11 eq (ÁGUAS et al., 2008, ALTHAUS et al., 2007).

- **Potencial de acidificação;**

A acidificação relaciona-se com as emissões de dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de azoto (NO_x) e amónia (NH_3) que provém da utilização de combustíveis fósseis para a produção de energia e é expressa em kg SO_2 -eq.

A acidificação provoca danos em ecossistemas naturais, água doce e solos florestais em grandes áreas da Europa (ÁGUAS et al., 2008, ALTHAUS et al., 2007).

- **Potencial de eutrofização;**

O potencial de eutrofização relaciona-se com a emissão de nutrientes para a água, ar e solo que causam excessivos macro-nutrientes no ambiente. A unidade funcional do potencial de eutrofização é kg PO_4 eq (ALTHAUS et al., 2007, MONTEIRO et al., 2011).

- **Toxicidade humana;**

A toxicidade humana refere-se aos impactos da saúde humana causados por substâncias tóxicas presentes no meio ambiente.

A toxicidade humana é expressa em kg 1,4-DCB-eq (ALTHAUS et al., 2007, PEGORARO, 2008).

- **Potencial de ecotoxicidade;**

A ecotoxicidade está relacionado com os impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas aquático, terrestre e sedimento.

A ecotoxicidade é expressa em kg 1,4-DCB-eq (ALTHAUS et al., 2007, FERREIRA, 2004, PEGORARO, 2008).

2.4. Rotulagem Ecológica

A rotulagem ecológica são símbolos que permitem ao consumidor ter conhecimento de quais os materiais e produtos mais “amigos do ambiente”.

Estes símbolos tentam mostrar o impacto ambiental dos materiais ou produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Na escolha de um produto ou material não se deve de ter em atenção somente o rótulo, porque as questões do transporte também são muito importantes para o impacto ambiental, ou seja, um produtos que seja rotulado com um destes rótulos ecológicos mas que seja produzido a milhares de quilómetros do local de utilização traz mais impactos ambientais do que os produtos ou materiais locais (TORGAL et al., 2010).


A nível mundial existem vários exemplos de rótulos ecológicos (tabela 2).









Quanto ao rótulo ecológico da Comunidade Europeia ou “Eco-Label”, no seu conteúdo apresenta relativamente aos materiais de construção somente as tintas e vernizes para interiores (Decisão 2009/544/CE), as tintas e vernizes para exteriores (Decisão 2009/543/CE) e revestimentos duros (Decisão 2009/607/CE) (EUROPA, 2009, TORGAL et al., 2010).

Para que os materiais ou produtos obtenham este rótulo, é necessário que estes estejam disponíveis na comunidade e que obedeçam aos requisitos de desempenho ambiental e aos critérios do atribuição .

Os requisitos ambientais são definidos de acordo com o anexo I do regulamento (CEE No. 880/92 do conselho de 23 de março 1992) e os requisitos metodológicos do anexo II do mesmo regulamento (EUROPA, 2009). O anexo I apresenta no seu conteúdo os critérios ambientais, o ciclo de vida do produto, pré-produção, produção, distribuição (incluindo embalagem), utilização, eliminação, importância dos resíduos, poluição e degradação do solo, contaminação da água, contaminação do ar, ruído, consumo de energia, consumo de recursos naturais e efeitos no ecossistemas (OFICIAL, 1992).

Tabela 2 - Exemplos de rótulos ecológicos

	Rótulo ecológico alemão "Anjo Azul" (ENGEL, 2011)
---	---

	Rótulo ecológico do Canadá "EcoLogo" (NATURECLEAN, 2011)
	Rótulo ecológico dos Países Nórdicos "O Cisne" (TIRES, 2011)
	Rótulo ecológico de Taiwan (INDEX, 2011b)
	Rótulo ecológico da Nova Zelândia (ZEALAND, 2011)
	Rótulo ecológico de Singapura (INDEX, 2011c)
	Rótulo ecológico da Austrália (AUSTRALIA, 2011)
	Rótulo ecológico do Brasil (TENDÊNCIAS, 2011)
	Rótulo ecológico da Espanha (INDEX, 2011a)
	Rótulo ecológico da Comunidade Europeia (ENVIRONMENT, 2011)

2.5. Declarações Ambientais de Produtos (DAP)

Existem outras formas de certificação dos produtos em termos de rotulagem ecológica, como as declarações ambientais de produtos (em inglês Environmental Product Declarations, EPD's). Estas são elaboradas de acordo com as normas ISO 14025:2006 (Declarações ambientais do tipo III) e ISO 14040:2006 (Avaliação do Ciclo de Vida) (POLICY, 2008, SILVESTRE et al., 2010, TORGAL et al., 2010).

A declaração ambiental é um documento que apresenta a quantificação dos dados ambientais sobre o ciclo de vida de um produto de uma forma precisa, verificável, podendo-se assim comparar produtos que tenham a mesma função (CAPETILLO et al., 2010, DIAS, 2011).

Os impactes causados na extração de matérias-primas e produção de materiais e produtos (do berço à porta “cradle-to-gate”), é o suporte para a obtenção de uma declaração ambiental de produto (ALMEIDA et al., 2010).

As declarações ambientais podem ser desenvolvidas para todos os produtos e serviços.

Numa DAP são avaliadas a contribuição dos diferentes materiais presentes num produto, as principais atividades e os processos incluídos no ciclo de vida do produto para um conjunto de parâmetros ambientais, sendo estes (CAPETILLO et al., 2010, POLICY, 2008):

- Parâmetros de inventário
 - Consumo de recursos não renováveis
 - Consumo de recursos renováveis
 - Consumo de recursos reciclados
 - Consumo de energia fóssil
 - Consumo de energia renovável
 - Resíduos perigosos
 - Resíduos para reciclagem
 - Outros resíduos
- Indicadores de impacto ambiental
 - Aquecimento global
 - Nevoeiro fotoquímico
 - Eutrofização
 - Acidificação
 - Depleção da camada de ozono

Todas as declarações ambientais devem ter o mesmo formato e incluir os mesmos parâmetros, sendo estes:

- Identificação e descrição da empresa que elabora a DAP;
- Descrição do produto;
- Contactos da empresa;

- Contactos do responsável;
- Período de validade da certificação;
- Resultados da Avaliação ciclo de vida (ACV) e inventário de ciclo de vida (ICV);
- Declaração dos materiais e substâncias, incluindo especificações dos materiais e substâncias que produzam efeitos negativos para o ambiente, em todas as fases do ciclo de vida;
- Identificação das fases de ciclo de vida;
- Informação sobre os locais de obtenção dos materiais (ISO14025:2009, 2009, POLICY, 2008).

A nível mundial, existem vários programas de DAP sendo eles apresentados na tabela 3 (SILVESTRE et al., 2010).

Tabela 3 - Programas DAP a nível mundial

Programa de DAP	País
Umwelt-Deklarationen	Alemanha
Declaración Ambiental	Espanha
Green Standard	Estados Unidos da América
Sistema RT – Environmental declaration	Finlândia
Informação Ambiental Relevante dos Produtos (Milieurelevante Productinformatie – MRPI)	Holanda
Ecoleaf	Japão
Building Research Establishment (BRE) Environmental Profiles Certification	Reino Unido

3. CONSTRUÇÃO MODULAR

A escolha de tema construção modular tem como objetivo aprofundar as questões da energia incorporada, escassez de recursos naturais e resíduos, considerando que estes são mais moderados na construção modular em comparação à construção tradicional.

Atualmente, o processo de construção em Portugal baseia-se num sistema sem repetição das soluções, traduzindo um processo pouco eficiente, com erros construtivos, baixa produtividade, baixa qualidade e custos mais elevados na construção.

3.1. História

Segundo Bregatto (2008), a evolução da construção modular divide-se em três períodos:

- Primeiro período: considerado da antiguidade até 1700, sendo que neste período é dada ênfase ao Egito, Grécia e Roma, cuja arquitetura era concebida com apoio à “Modulação Compositiva”;
- Segundo período: considerado de 1700 a 1850, onde um exemplo é o Palácio de Cristal, como um dos mais importantes elementos deste período. Este mesmo caracteriza-se pela “Modulação de Produção e Conceção”;
- Terceiro período: considerado a partir de 1850 até à atualidade, denominando-se por “Construção Modular”.

Relativamente ao **primeiro período** este baseia-se numa arquitetura única e centrada no homem, ou seja, as construções elaboradas apenas pela força humana. Como exemplo pode-se referir a construção das pirâmides do Egito nas quais envolvia a colaboração de milhares de trabalhadores em que, uns faziam o trabalho de transporte das pedras, outros faziam o corte nas dimensões desejadas e, finalmente outros, a colocação na posição pretendida.

Neste período o fator mais importante era a dimensão das pedras e não a facilidade de transporte.

Por sua vez, os gregos tinham já uma ideia sobre o “módulo” que era a medida reguladora das proporções da construção, que tinha como objetivo conciliar todos os elementos do edifício com harmonia. Para eles, a estética era mais importante que a parte funcional (BREGATTO, 2008a).

Como unidade básica era utilizado o diâmetro da coluna (figura 16), sendo que a partir desta eram definidas as outras dimensões, como a altura, dimensão entre colunas e todas as outras da obra (BREGATTO, 2008a, GREVEN et al., 2007).

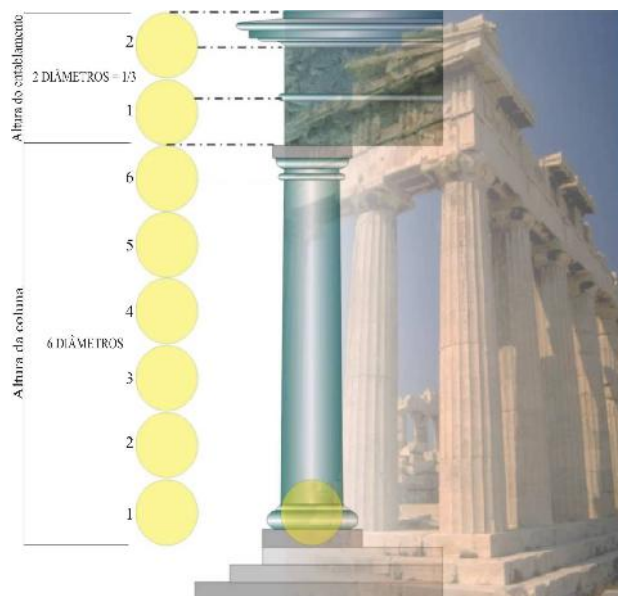


Figura 16 - Coluna harmónica (FILHO, 2007)

Os romanos adotaram um sistema de medidas antropométricas, sendo estas adotadas em função do corpo humano para garantir a harmonia das proporções sendo usados os pés, os braços, entre outros.

Acreditavam que ao utilizar as dimensões antropológicas chegariam as medidas adequadas para o “módulo”, já que as construções eram concebidas para o ser humano e suas necessidades. Temos, como exemplo, a cidade de Emona (figura 17).

Este povo conseguiu padronizar os seus tijolos em dois tipos universais, o “bipetalis” e o “sesquipetalis” (BREGATTO, 2008a, GREVEN et al., 2007).

Serviram-se do módulo para definir as medidas dos vários componentes da construção como, telhas, tijolos, colunas e ladrilhos, entre outros e utensílios domésticos como os pratos e copos (GREVEN et al., 2007).

Existiu ainda neste período um módulo japonês que usava como medida o Ken derivado do Shaku (Corresponde praticamente ao pé inglês). O Ken passou a ser a medida absoluta para a estrutura de edifícios, materiais e espaços de arquitetura japonesa (BREGATTO, 2008a, GREVEN et al., 2007).

No que se refere ao **segundo período**, este caracteriza-se por uma produção não centrada no homem, mas sim na máquina. Devido à revolução industrial, as exigências quanto à construção de edifícios aumentou, sendo necessários edifícios maiores, mais resistentes, edifícios públicos, portos e armazéns, solicitam o uso de materiais diferentes, como o ferro fundido e o vidro. Com a entrada destes materiais na construção, obrigou à transformação destes em peças pré-fabricadas, essencialmente em ferro e aço. A construção com este tipo de materiais deu origem a uma maior rapidez de construção e numa redução de desperdícios de materiais.

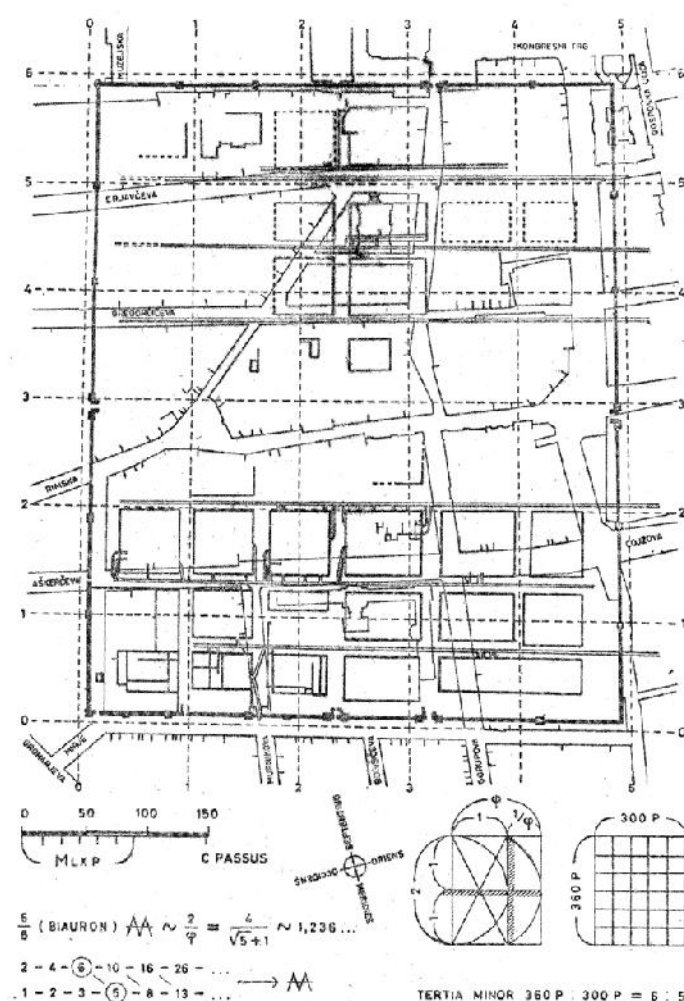


Figura 17 - Cidade de Emona (GREVEN et al., 2007)

Como foi descrito anteriormente, o segundo período é caracterizado pela “modulação de produção e conceção” e o Palácio de Cristal (figura 18), projetado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851 para a Exposição Universal de Londres foi o primeiro

exemplo de modulação de produção (BREGATTO, 2008a, FILHO, 2007, GREVEN et al., 2007).

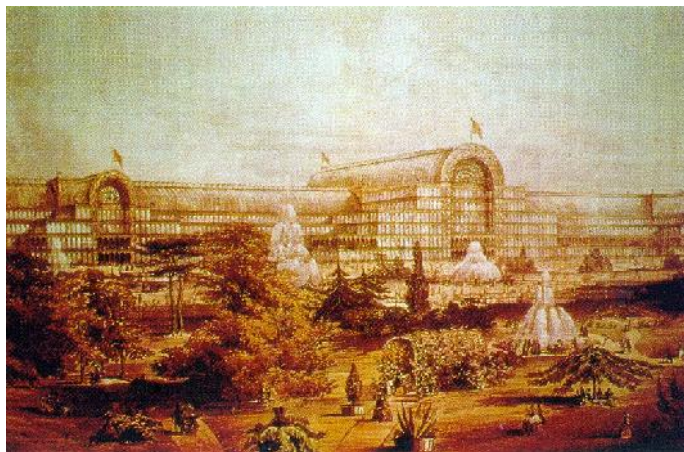


Figura 18 - Palácio de Cristal de Joseph Paxton, Londres 1851 (FILHO, 2007)

Para finalizar, no que refere ao **terceiro período**, este caracteriza-se pela ideia de construção modular. O Palácio de Cristal foi realmente um bom exemplo representativo, mas posteriormente realizaram-se várias construções seguindo a mesma metodologia do Palácio Cristal como a Estação Midland em Oxford construída em 1852 patente na figura 19 (FILHO, 2007).

Mas como a industrialização passou por várias evoluções, a construção civil não poderia ficar estagnada, sofrendo também evoluções. Foram realizados vários estudos relativamente aos pré-fabricados e foi concluído que não era possível suportar custos tão elevados e períodos de construção tão longos, então, a padronização dos elementos de construção era necessária (GREVEN et al., 2007).



Figura 19 - Estação Midland (ELONDRES.COM, 2011)

Segundo Le Corbusier (1924) *in* (POSSEBON, 2004) “A grande indústria deve ocupar-se com a edificação e estabelecer em série os elementos da casa. Deve ser criado o estado de espírito da série: de construir casas em série, de habitar casas em série, de conceber casas em série”.

Ele considerava que as medidas dos gregos e romanos, descritas anteriormente, eram algo infinitamente ricas e subtis, pois formavam parte das matemáticas do corpo humano, ágil, elegante, sólido, fonte de harmonia que nos move, a beleza. Então, desenvolveu um sistema de proporções, o Modulor (figura 20), a partir das dimensões do corpo humano (BREGATTO, 2008a).

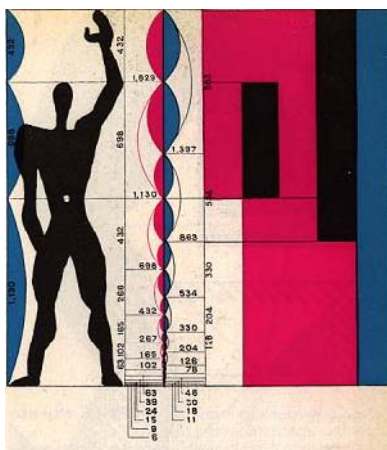


Figura 20 - O Modulor de Le Corbusier (LISBOA, 2000)

O principal trabalho de Le Corbusier em que utilizou o Modulor, foi a “*unité d’Habitation*” (Figura 21) em Marselha construída entre 1946 e 1952 (BREGATTO, 2008a).



Figura 21 - "Unité d'Habitation" Marselha (WIKIPEDIA, 2011)

Sendo a uniformização geral (figura 22) já aplicada em diversos setores, tornando-os mais rentáveis, levou Walter Grópius (1924) a questionar-se do porquê da uniformização geral não ser aplicada também na construção, podendo assim fornecer ao consumidor uma habitação de acordo com as suas necessidades.

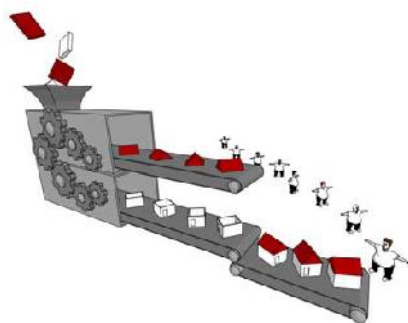


Figura 22 - Uniformização geral das habitações (CASTELO, 2008)

Devido a estudos realizados desenvolveram-se processos de interação entre a elaboração do sistema, enquanto modelo, e exemplos específicos para a sua aplicação, realizando-se várias tentativas de criação de diversas habitações a partir da articulação de módulos estruturais tridimensionais, permitindo ao utente a individualização das suas próprias casas e criar uma uniformização dos urbanos construídos, garantindo desta forma, diversidade em série, personalização em série e flexibilidade em série (CASTELO, 2008).

Walter Gropius projetou e construiu duas casas isoladas: a do bairro operário Weissenhof (figura 23), em 1927 e a “ Casa Ampliável”, em 1932. Elas foram montadas a seco com componentes pré-fabricados: vedação com painéis de cortiça revestidos externamente com fibrocimento contendo amianto e estrutura metálica. A planta da casa de Weissenhof era modular e da casa ampliável crescia com a adição de alguns corpos volumétricos (FILHO, 2007, GREVEN et al., 2007).



Figura 23 - Bairro operário Weissenhof (SÓ, 2011)

3.2. Conceito

Neste capítulo, pretende-se elucidar à cerca do conceito da construção modular, sendo que se trata de um sistema que é projetado seguindo uma unidade de medida comum. Esta unidade de medida é designada por módulo, sendo que este define as dimensões e proporções dos elementos/módulos na construção (BREGATTO, 2008a).

3.2.1. Processo construtivo

Utilizando a metodologia da coordenação dimensional modular, que segundo Castelo (2008) se refere a “(...) uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a concepção e a construção de edifícios, o que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto a liberdade de concepção arquitetónica dentro de valores aceitáveis.”, pretende racionalizar todo o processo de construção com a padronização das dimensões dos vários elementos.

Fase de Projeto

Nesta fase é necessário ter em atenção aos elementos construtivos e ao meio envolvente tendo como recurso elementos predefinidos e pré-calculados, bem como a malha quadricular modular de forma a reduzir custos.

Processo de construção

Este processo pode ser distinguido em duas fases, a fase de produção e a fase de transporte para o local da obra. Quanto à fase de produção pode-se afirmar que com a produção em série dos vários elementos obtém-se uma redução de custos e um aumento da qualidade.

Montagem Final

Na fase da montagem final, obtém-se uma redução de custos na mão de obra se os elementos construtivos tiverem mecanismos de montagem simplificados, sem sobreposições, cortes ou alterações do projeto inicial.

Com a aplicação dos vários critérios descritos na várias fases, obter-se-á uma redução do custo final no global da construção, bem como uma redução do tempo e um ganho na qualidade da mesma.

3.2.2. Instrumentos para a estruturação

Para que a metodologia, anteriormente descrita, seja exequível é necessário definir alguns conceitos como o sistema referencial, sistema modular de medidas, sistema de ajustes e tolerâncias e sistema de números preferenciais.

Relativamente ao sistema referencial (figura 24), para que tudo funcione corretamente é necessário criar um sistema geométrico de forma a determinar a posição e a medida de cada componente.

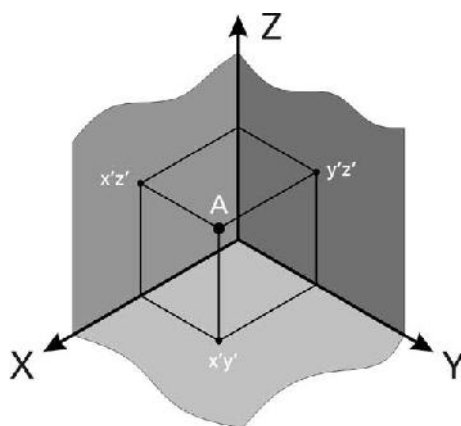


Figura 24 - Sistema de referência (GREVEN et al., 2007)

O **sistema referencial** é composto por dois elementos básicos, o reticulado modular espacial de referência e o quadriculado modular de referência (ou malha modular).

O reticulado modular espacial de referência (figura 25) é constituído pela interseção de planos que se intersectam perpendicularmente, distanciados entre si com uma distância igual ao módulo e paralelos aos três planos ortogonais (GREVEN et al., 2007).

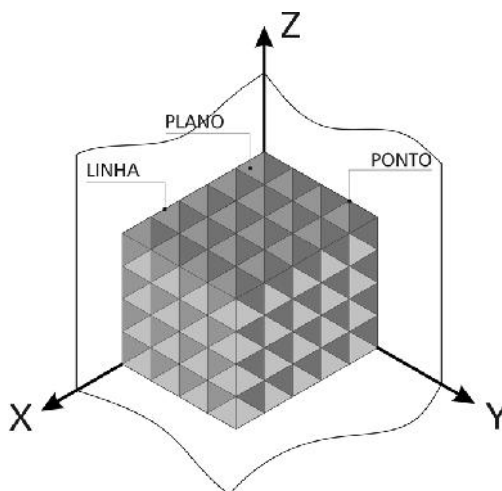


Figura 25 - Reticulado modular espacial de referência (GREVEN et al., 2007)

O quadriculado modular de referência (figura 26) é a projeção ortogonal do reticulado espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais.

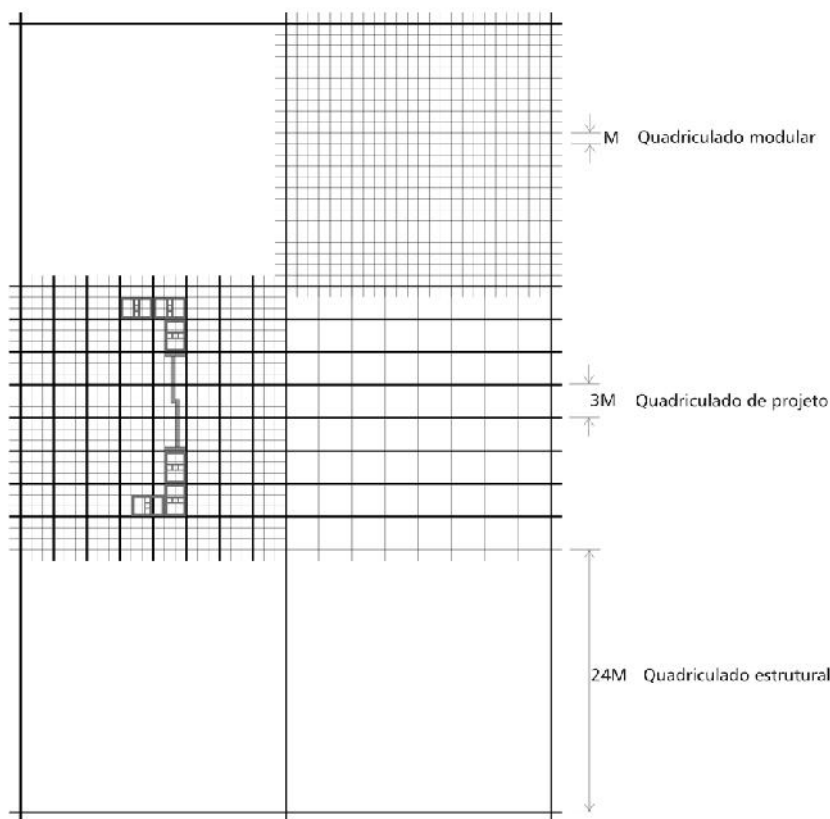


Figura 26 - Quadriculado modular de referência (GREVEN et al., 2007)

Segundo Caporioni, Garlatti e Tenca-Montini (1971) *in* (GREVEN et al., 2007) o quadriculado modular de referência deve ser subdividido em relação aos quadriculados usados nas várias fases do projeto, sendo estas, o quadriculado modular destinado na utilização do projeto dos vários componentes e detalhes, o quadriculado de projeto que é utilizado no projeto geral do edificado, o quadriculado estrutural que se destina ao posicionamento dos elementos estruturais e o quadriculado de obra destinado à locação da edificação e dos diferentes componentes para a montagem.

Quanto ao **sistema modular de medidas** normaliza as dimensões dos elementos em múltiplos inteiros e fracionários baseado no módulo.

Segundo Mascaró (1976) *in* (GREVEN et al., 2007) as características do sistema modular de medidas são, conter medidas funcionais e de elementos construtivos típicos, ser aditiva em si mesma e assegurar a troca das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou submúltiplas do módulo.

É necessário também referir os multimódulos e submódulos.

Quanto aos multimódulos, são o produto de números inteiros (n) pelo módulo base (M), vários autores dizem que os multimódulos estão no intervalo de $3M$ até $60M$ (CASTELO, 2008, FILHO, 2007, GREVEN et al., 2007).

A medida modular (figura 18), corresponde à medida do módulo ou dos multimódulos de um componente ou distância ente as diferentes partes da construção. Esta também inclui a medida do componente mais a folga de forma a garantir que cada componente tenha espaço suficiente para a sua colocação, não invadindo o componente adjacente, cumprindo assim as normas correspondentes.

Por sua vez, o **sistema de ajustes e tolerâncias**, é necessário para garantir a compatibilidade dos elementos e dos materiais. Nos sistemas tradicionais, o ajuste dos elementos e dos materiais é basicamente indispensável assim como a verificação das medidas quando há necessidade de recorrer a elementos feitos por encomenda (BREGATTO, 2008b, CASTELO, 2008).

Quando se fala em construções modulares ou pré-fabricadas, este sistema é indispensável para garantir facilidade de aplicação no ato de montagem da obra e a tornar o sistema modular fiável e eficiente.

Uma medida existente importante é a junta modular (figura 27), sendo que esta medida tem de ter em conta as variações dimensionais devido a erros de fabricação e de posição, dilatações, contrações e deformações originadas por fenómenos físico-químicos, posteriores à montagem (GREVEN et al., 2007).

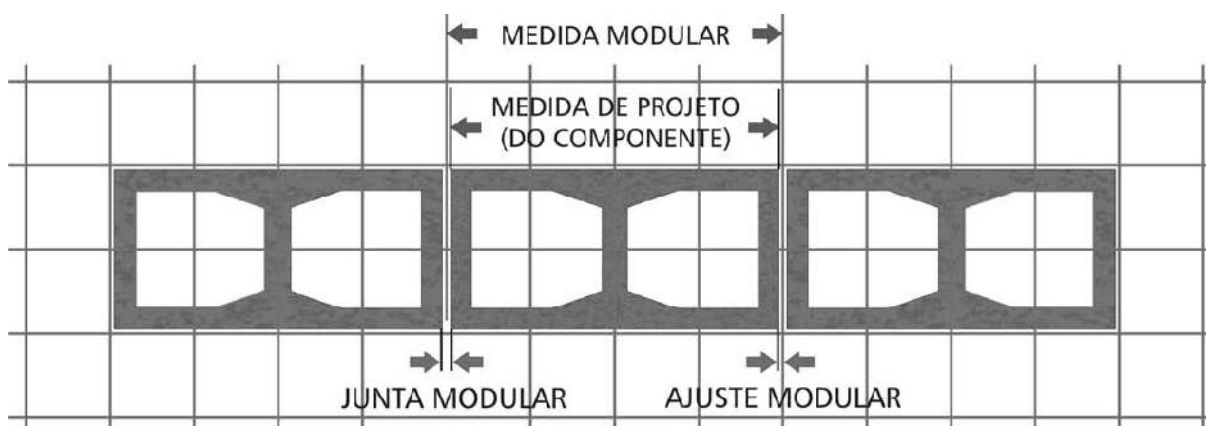


Figura 27 - Medida modular, junta modular e medida de projeto (GREVEN et al., 2007).

Para finalizar, o **sistema de números preferenciais** é usado para otimizar o tipo e número de formatos de cada componente da habitação. Rosso (1976) *in* (GREVEN et al., 2007) “Os números preferenciais são escolhidos de forma adequada em relação às características

do sistema modular e de maneira a obedecer a regras numéricas seletivas e que permitam uma seleção organizada de dimensões.” A caracterização dos números preferenciais é feita da seguinte forma:

- Por ter fixos e seus limites pelas características técnicas dos componentes e as razões económicas da sua fabricação;
- Função desempenhada;
- Forma de união (junta entre as componentes da construção);
- Possibilidade da sua divisão sem a ocorrência de desperdícios.

3.3. Definição e tipologias

O processo construtivo da construção modular ou pré fabricada agrega elementos produzidos em fábrica, podendo estes serem parte ou maioria da construção.

A produção dos elementos em fábrica são tendencialmente executados antes da construção criando redução de falhas de produção e cumprimento dos prazos estabelecidos.

É difícil definir uma fronteira entre a construção modular e a construção tradicional porque, a construção modular nunca é totalmente produzida em fábrica, há sempre trabalhos a fazer em obra, como a ligação dos elementos, as fundações, entre outros. Já a construção tradicional também está ligada à construção modular, porque parte dos elementos não são construídos *in situ* mas sim em fábrica como os produtos cerâmicos, janelas, portas, entre outros.

As técnicas de construção pré-fabricada podem ser divididas nas seguintes categorias:

- Montagem prévia;
- Sistemas híbridos;
- Sistemas de construção por painéis;
- Edifícios modulares.

A **montagem prévia**, trata-se de um processo construtivo que inclui uma produção prévia e colocação num local estabelecido (por exemplo um sistema estrutural, sistemas de aquecimento, entre outros).

Os **sistemas híbridos**, tratam-se de construções com áreas ou espaços já produzidos de fábrica.

Os **sistemas de construção por painéis**, tratam-se de elementos apainelados, como os painéis da envolvente externa, construídos em fábrica, transportados para o local da obra e montadas.

Finalmente, os **edifícios modulares**, são edifícios construídos na sua totalidade em fábrica, transportados para o local da obra e ligados *in situ* (TAVARES, 2009).

Não é conhecido o valor percentual das construções realizadas fora do estaleiro a nível europeu, mas Lu e Bausman realizaram um estudo e afirmam que nos Estados Unidos da América a percentagem de construções realizadas fora do estaleiro ronda os 23% (LU et al., TAVARES, 2009).

No mesmo estudo, estes autores afirmam que as perceções dos vários intervenientes numa construção são significativamente diferentes em relação ao impacto que as técnicas da construção modular têm a nível de custo de projeto e qualidade dos componentes utilizados. Mas na maioria, os que já experimentaram este tipo de construção têm uma opinião positiva (LU et al., TAVARES, 2009).

Por último, algumas propostas foram apresentadas três propostas para o aumento do uso das técnicas referidas anteriormente, sendo estas, o aumento do desenvolvimento e investigação em técnicas de desenvolvimento, formar e especializar técnicos, empreiteiros e operários e colaboração e incentivo à criação de empresas e/ou instituições que se dediquem a este tipo de construção (LU et al., TAVARES, 2009).

3.4. Vantagens da construção modular

A construção modular apresenta muitas vantagens por se tratar de um processo construtivo industrializado. A construção modular permite construções em série, apresenta custos finais de produção mais reduzidos por redução de desperdício de materiais e de mão de obra, rapidez de conclusão das construções, menor consumo de recursos naturais e energia. Sistematizando, as vantagens da construção modular comparativamente à construção tradicional podem ser diferenciadas em quatro dimensões, sendo estas:

- Dimensão económica;
- Dimensão social;
- Dimensão tecnológica;
- Dimensão ambiental.

Relacionado com a **dimensão económica**, o sistema modular apresenta menores falhas construtivas, maior controle e qualidade de produção, independente às condições climáticas na fase de produção, mão de obra qualificada, redução nos tempos de produção, adaptabilidade, desconstrução, entre outros. Estas vantagens levam a um melhor resultado final e a uma redução nos custos da construção, beneficiando o consumidor (TAVARES, 2009).

Quanto **dimensão social**, como a produção é realizada em fábrica, existe um maior supervisionamento, originando numa redução dos acidentes de trabalho (Portugal com valores elevados) e reduzindo o perigo futuro por erros de construção (TAVARES, 2009).

A **dimensão tecnológica** refere-se aos ensaios realizados aos elementos construtivos com utilização da tecnologia (TAVARES, 2009).

Por fim, a **dimensão ambiental**, refere-se aos impactes ambientais, tais como, o consumo de recursos naturais e energéticos. Estima-se que a construção pré-fabricada apresenta metade dos impactes da construção tradicional. A construção pré-fabricada permite também um melhor planeamento dos resíduos de construção e demolição (TAVARES, 2009).

A figura 28 apresenta uma comparação da construção modular com a construção tradicional relativamente aos tempos de conclusão da habitação.

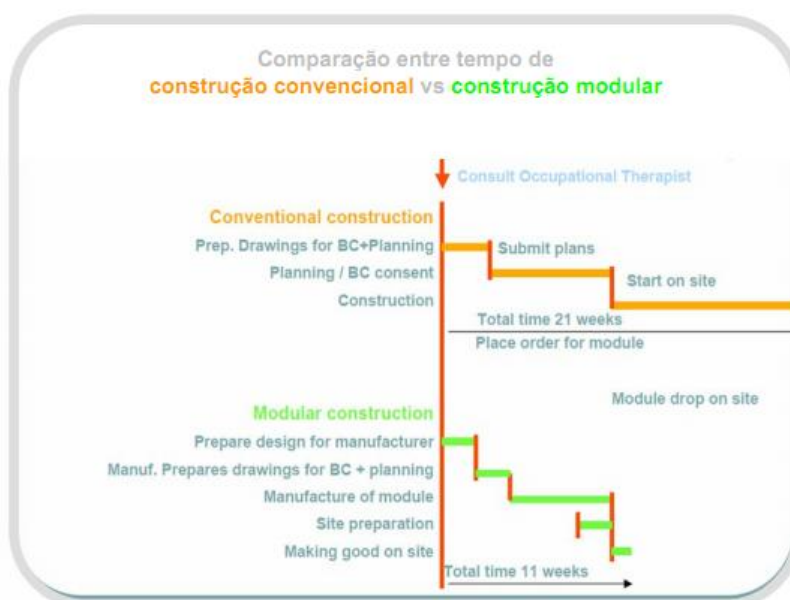


Figura 28 - Comparação entre tempos de construção convencional vs construção modular (TAVARES, 2009).

3.5. Desvantagens da construção modular

A construção tradicional em Portugal apresenta um descuido (no planeamento, tempo de execução e cuidados de execução) por parte dos intervenientes levando a uma série de erros e omissões e a grandes desperdícios de construção. A construção modular não permite este tipo de descuidos, para tal, necessita de mão de obra especializada desde o projetista ao executor, sendo então uma desvantagem, porque em Portugal a mão de obra especializada ainda é muito reduzida. Uma outra desvantagem é a mentalidade dos projetistas que persistem que a construção modular é uma arquitetura monótona.

As construções modulares existentes em Portugal são de utilização apenas sazonal ou temporário (TAVARES, 2009).

3.6. Sistemas de construção modular

No mercado da construção modular existem vários sistemas diferentes, mas vamos dar mais importância aos sistemas nacionais. Seguidamente, será feita a classificação dos sistemas construtivos modulares, tais como:

- sistemas de construção modular fechados;
- sistemas modulares parcialmente abertos;
- sistemas abertos;
- sistemas construtivos de elementos modulares e
- sistemas mistos ou híbridos.

E apresentação de alguns exemplos de sistemas construtivos modulares mais comuns.

3.6.1. Classificação dos sistemas construtivos modulares

O **sistema de construção modular fechado** (figura 29), é um sistema de módulos semelhante ao sistema dos contentores utilizados para transporte de mercadorias. Este sistema permite a fácil deslocação para posterior colocação do mesmo no local pretendido, podendo ser empilhados e ligados entre si. Apresentam também os interiores já previamente preparados, e não podendo sofrer alterações e depois de empilhados estes estão dispostos para utilização.



Figura 29 - Sistema de construção modular fechado (5OSA, 2009).

Os **sistemas modulares parcialmente abertos** (figura 30) , são sistemas de módulos semelhantes aos anteriores mas como podem apresentar laterais abertas, permitem a ligação entre módulos não estando restringido apenas às dimensões do módulo.



Figura 30 - Sistema modular parcialmente aberto (SPACE, 2007)

Os **sistemas abertos** (figura 31), são sistemas que apresentam apenas o esqueleto estrutural (vigas e pilares), podendo ser agrupados em diferentes direções ao contrário dos dois anteriores. Tendo esta estrutura apresentam diversas configurações distintas.



Figura 31 - Sistema modular aberto (RADZIBER, 2005)

Os **sistemas modulares de elementos construtivos** (figura 32), são sistemas que não apresentam estrutura de contentor como mostrado nos anteriores, apresentando apenas elementos estruturais e não estruturais produzidos em fábrica e assim que chegam ao local da obra são ligados entre si e apresentam a estrutura final da obra.



Figura 32 - Sistemas modulares de elementos construtivos (CENTURYTEEL, 2009)

Para finalizar, os **sistemas mistos ou híbridos** (figura 33), como o próprio nome indica é um mix de todos os sistemas descritos anteriormente para obter o resultado final da habitação.



Figura 33 - Sistemas mistos ou híbridos (LAWSON, 2007)

3.6.2. Exemplos de sistemas modulares

Construções em madeira

A solução das casas de madeira são ótimas por apresentarem características de salubridade superiores a todas as outras.

A madeira é um isolante térmico natural que permite manter a temperatura do interior das habitações, diminuindo assim a fatura energética.

As vantagens das casas de madeira são:

- Durabilidade;
- Estabilidade;
- Insonorização;
- Ecológico;
- Mais barato;
- Resistência ao fogo;
- Rapidez de construção;
- Intemporal.

Relativamente ao sistema construtivo, todo o sistema estrutural é em madeira e as paredes são em painéis de sanduíche de madeira e isolamento térmico, como é ilustrado na figura 34.

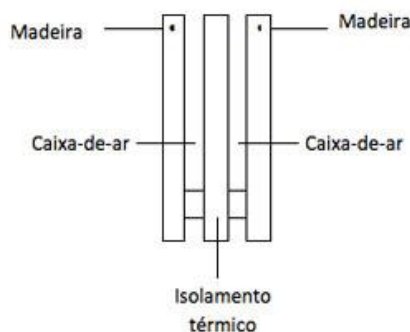


Figura 34 - Sistema construtivo de paredes de madeira (BERCI, 2010)

No mercado temos várias soluções de casas em madeira, apresentando como estrutura paredes com e sem isolamento, sistemas maciços, sistemas de painéis, entre outros.

O sistema maciço (Log Homes) (figura 35), é um sistema ancestral de construção, tendo como principais características o “self supporting”, ou seja, encaixa os seus elementos de madeira maciça, ou lamelada, através de macheados feitos em fábrica alcançando assim uma grande precisão. Este sistema não necessita de isolamento térmico já que a madeira apresenta uma boa capacidade de resistência térmica como já foi descrito anteriormente neste documento. Deste modo, tem a capacidade de se adaptar a vários climas (HOMES, 2011).



Figura 35 - Log Homes (HOMES, 2011)

O sistema de painéis (Frame System) (figura 36), é constituído por vigas e pilares em madeira para erguer as paredes, coberturas e lajes da habitação. Estes são forrados por diferentes materiais, tais como, pedra, madeira, entre outros, de forma a obter um aspeto final mais agradável e o mais idêntico à construção tradicional. Estas construções são mais

agradáveis para o comprador no aspeto económico devido à utilização de quantidades de matérias-primas mais reduzidas.

Não sendo este sistema maciço permite uma maior criatividade quanto à arquitetura das habitações, porque o sistema de painéis não têm restrições arquitetónicas, permitindo também construções em altura que segundo a Log Homes, podem atingir até seis pisos de altura.



Figura 36 - Frame System (HOMES, 2011)

Construções metálicas

A construção em **aço**, baseia-se em sistemas de módulos individuais que permitem reduzir os custos devido ao fabrico fabril e padronização dos diversos elementos.

Com este tipo de construção, a precisão de construção é maior, logo, a qualidade de construção é maior.

O aço utilizado neste tipo de construção é o aço leve ou do inglês Light Steel Framing (LSF).

Como a madeira, o aço apresenta várias vantagens quando aplicado neste tipo de construções, sendo estas (TÉKETO, 2010):

- Liberdade no projeto de arquitetura;
- Compatibilidade como outros materiais;
- Flexibilidade;
- Maior precisão construtiva;
- Material leve, aliviando as fundações.

Os perfis utilizados são fabricados com orifícios que permitem a passagem de cablagem e tubagem permitindo, assim, uma melhor ligação dos mesmos, não causando erros nem danos na instalação.

Na construção podem ser utilizados diversos materiais, como o aço, o betão para as fundações, isolamentos de poliestireno, lã de rocha, gesso cartonado, entre outros.

As figuras 37 a 41 mostram os diversos processos construtivos. Na figura 37 está patente um ensoleiramento geral com os perfis de arranque para a estrutura em aço leve e encaixe para as paredes exteriores. Seguidamente á estrutura de suporte aplicam-se as paredes exteriores simples (figura 38), compostas por chapa galvanizada, cola poliuretano para criar ligação do isolante térmico em poliestireno expandido à chapa, armadura em fibra para reforçar a camada de argamassa de base e por fim o revestimento final. As paredes interiores (figura 39) são constituídas por dois panos de gesso cartonado e caixa de ar totalmente preenchida pelo isolante térmico em lã mineral. As paredes são fixadas à estrutura de aço. Quanto à cobertura, apresenta-se a cobertura inclinada com telha cerâmica (figura 40) e a cobertura plana transitável (figura 41), podendo-se visualizar duas soluções distintas. A primeira apresenta painéis de OSB apoiados na estrutura de suporte em aço, isolante térmico em poliestireno extrudido, uma subtelha para garantir que o isolante térmico não contacta com a água, e aplica-se um ripado em PVC garantindo o apoio para as telhas cerâmicas. A cobertura plana transitável (figura 41) apresenta um painel de contraplacado marítimo apoiado na estrutura de suporte metálica, uma lâmina de betonilha reforçada com rede acrílica e o revestimento de pavimento. Entre a camada de betonilha são aplicadas duas membranas impermeabilizantes e uma imprimação asfáltica. O isolante térmico em poliuretano projetado encontra-se entre as vigas de aço (TÉKETO, 2010).

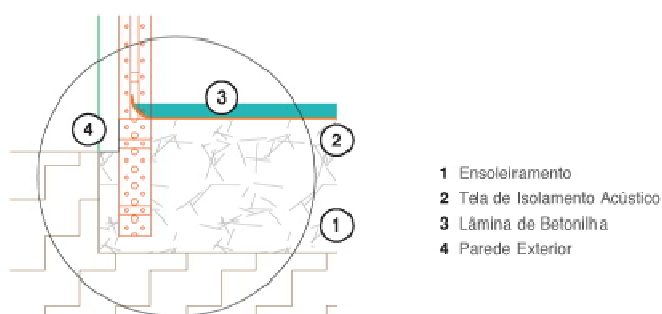


Figura 37 - Pormenor de ligação da estrutura ao ensoleiramento (TÉKETO, 2010)

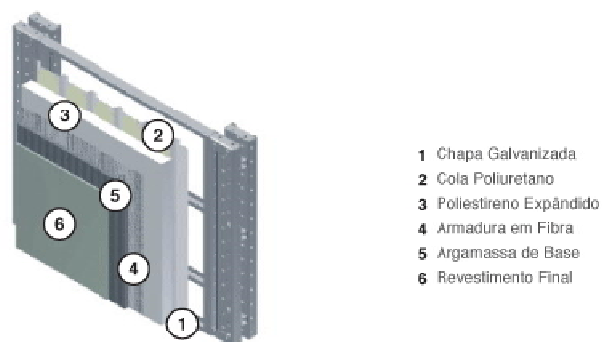


Figura 38 - Pormenor construtivo de uma parede exterior (TÉKETO, 2010)

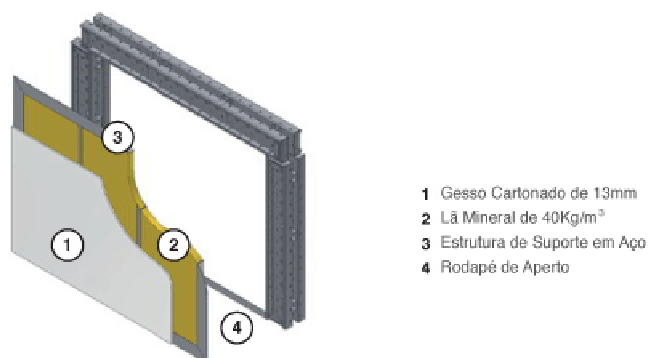


Figura 39 - Pormenor construtivo de uma parede interior (TÉKETO, 2010)

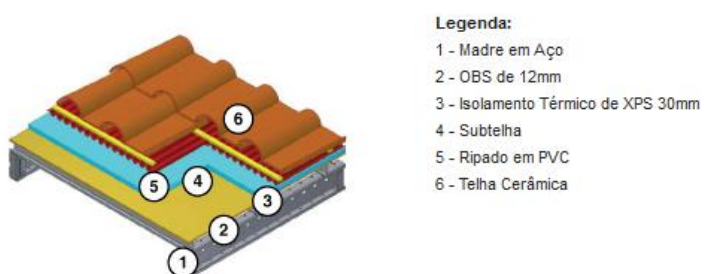


Figura 40 - Pormenor construtivo de uma cobertura inclinada (TÉKETO, 2010)

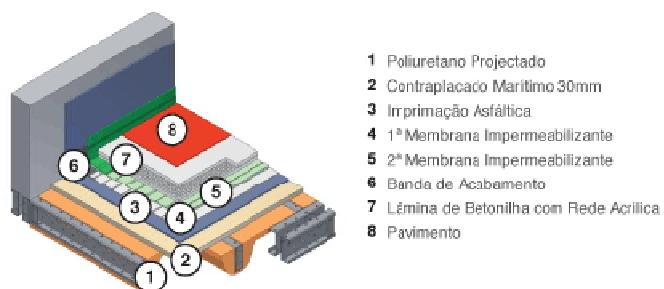


Figura 41 - Pormenor construtivo de cobertura plana transitável (TÉKETO, 2010)

Outras soluções construtivas

Existem outras soluções construtivas de construção modular em Portugal, como a construção modular em betão, em granito, o sistema WALLINBLOCK (ANTÓNIO et al., 2010) e Spacebox (GAINSGROVE, 2004) e Sit Urban Design (SIT, 2011).

Quanto ao **betão**, as habitações são feitas por paredes de betão leve, em que são limitadas pelas vigas e pelos pilares existentes no seu interior. Desta forma, obtém-se uma estrutura única que não necessita de cofragens nem juntas e são executadas apenas numa fase da obra.

O objetivo desta solução é a utilização de espaços, materiais e soluções padronizadas, de forma a diminuir o tempo de execução de uma obra e aumentarem nas habitações o conforto térmico e acústico. A utilização de materiais da mesma natureza é também aconselhável de forma a não criarem incompatibilidades entre eles e os suportes. Estes materiais são os seguintes, betão, pré-fabricados de betão e argamassas hidráulicas.

Relativamente ao **granito**, é um sistema de construção modular com revestimento em granito. Este sistema é aplicado por uma empresa em Portugal a Feliciano Soares Granitos. A figura 42 ilustra um exemplo de uma construção modular com revestimento em granito (GRANIMINHO, 2010).



Figura 42 - Casa pré-fabrica com revestimento em granito (GRANIMINHO, 2010)

O **WALLINBLOCK**, é uma solução baseada em aglomerados de cortiça e metais.

Esta solução tem como objetivo a integração de materiais com baixo impacto ambiental e reduzir os desperdícios em obra.

Os objetivos da solução WALLINBLOCK são, apresentar um custo competitivo, ser uma solução leve, modular, pré-fabricada e de fácil aplicação, incorporar materiais de baixo

impacte ambiental, incorporar materiais que permitam a reciclagem e reutilização no fim de vida, redução de desperdícios em obra, ser energeticamente eficiente, garantir estabilidade estrutural, mesmo à ação sísmica, permitir a aplicação de vários acabamentos e integração de infraestruturas (ANTÓNIO et al., 2010).

Para que os objetivos possam ser cumpridos é necessário realizar uma avaliação de impacte ambiental da solução, pensar no processo construtivo da solução em todo o ciclo de vida, realizar estudos de comportamento mecânico, térmico, acústico e resistência ao fogo e aperfeiçoamento dos materiais reduzindo a pegada ecológica (ANTÓNIO et al., 2010).

Apresenta-se de seguida na figura 43 o sistema WALLINBLOCK.

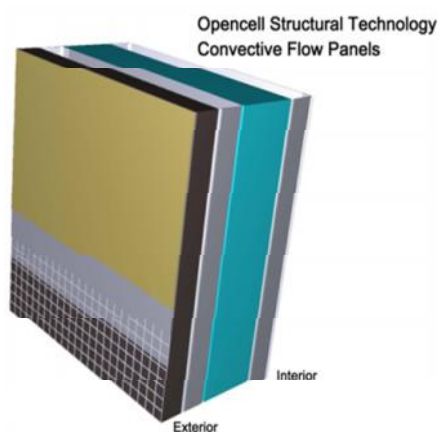


Figura 43 - Sistema WALLINBLOCK (ITECONS, 2010)

O **Spacebox** (figura 44), é um sistema construtivo inovador que nasceu na Holanda devido à falta de habitação para os estudantes. Este sistema constituído por um módulo único é fácil de transportar e implantar no local da obra. Estes módulos têm uma capacidade de 18 metros quadrados e permitem o empilhamento dos mesmos e ligação entre si tanto verticalmente como horizontalmente. Os espaços interiores podem ser projetados de acordo com o cliente e projetista.

Cada unidade é constituída por cinco painéis compostos, utilizando materiais resistentes ao fogo, com um isolamento em espuma Resol e um acabamento exterior em poliéster. A empresa Spacebox[®] utiliza 88 mm de espessura para os painéis de paredes e 110 mm para os painéis de laje (GAINSGROVE, 2004).



Figura 44 – Spacebox (GAINSGROVE, 2004)

O **Sit Urban Design**, é um sistema construtivo pré-fabricado com as seguintes características técnicas, paredes exteriores compostas por betão reforçado com fibra de vidro e com auxílio de uma estrutura metálica, isolamento térmico em poliuretano expandido de quatro centímetros, remates do perímetros superior em cantoneira de alumínio anodizado, caixilharia de alumínio com perfil em T e vidro duplo. Quanto às paredes interiores, são constituídas por painéis de gesso cartonado.

Para finalizar, a cobertura, é composta por uma impermeabilização de superfície exterior com membrana elástica, elemento plano de betão com fibras de vidro e auxiliado de uma estrutura metálica, isolamento térmico em poliuretano expandido de quatro centímetros usado igualmente nas paredes exteriores e teto falso em gesso cartonado.

Este tipo de sistema pertence ao grupo dos sistemas de construção modulares parcialmente abertos, já falados anteriormente, que são fabricados em fábrica e transportados para o local de implantação com recurso de transportes especiais, como é ilustrado na figura 45 (SIT, 2011).



Figura 45 - Transporte dos Módulos (SIT, 2011)

4. ESTUDO DE CASO, CONSTRUÇÃO MODULAR E SEUS MATERIAIS

4.1. Descrição do caso de estudo

O objetivo neste capítulo é comparar os desempenhos ambientais e energéticos de vários exemplos de soluções construtivas tradicionais e modulares, com realização de uma avaliação do desempenho energético e ambiental da construção modular com a aplicação da metodologia da avaliação do ciclo de vida.

Para a realização deste projeto apresenta-se uma planta (figura 46) e os alçados (figura 47) de uma habitação de tipologia T3 implantada numa região de Portugal com uma zona climática I1V1 sendo a área de implantação de aproximadamente 144 m². Será também realizado um estudo com a implantação da habitação numa zona climática I3V3 de forma a que este estudo não esteja limitado apenas as zonas climáticas mais favoráveis (I1V1), mas sim abranger de certo modo todo o território nacional. Mesmo assim sabe-se que existem variantes porque dentro do mesma zona climática os valores não são os mesmos e também porque existem várias localidades que se situam dentro da zona climática I2V2.

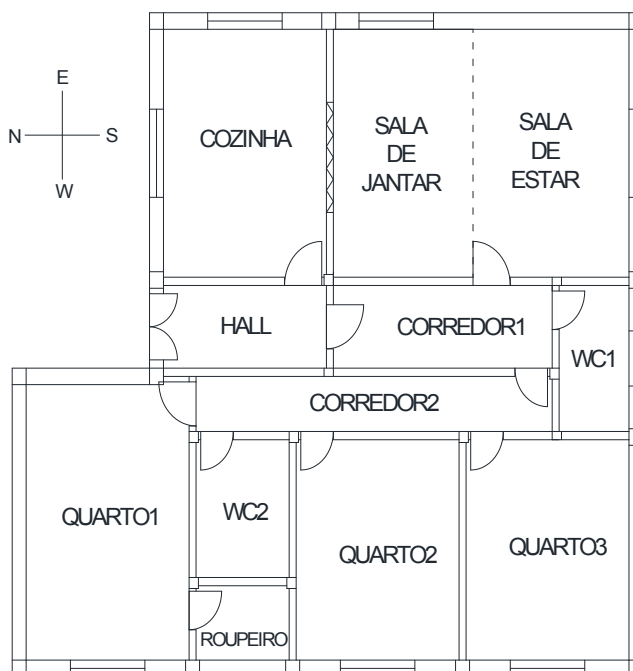


Figura 46 - Planta da habitação



Figura 47 - Alçados da habitação

Na figura 48 e 49, apresenta-se o mapa de Portugal continental com as várias zonas climáticas de inverno e de verão.

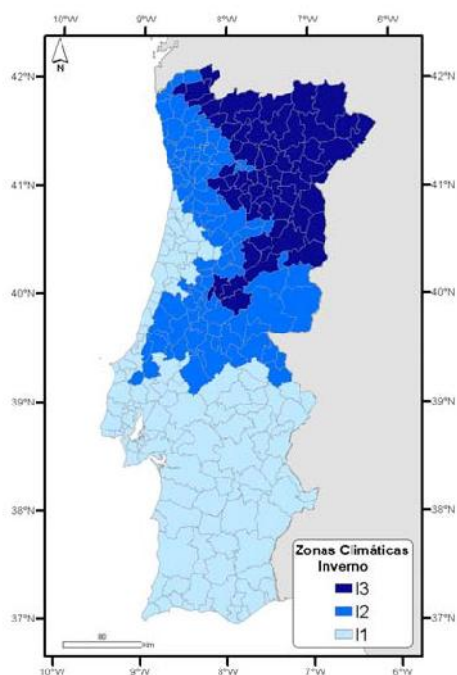


Figura 48 - Portugal continental. Zonas climáticas de inverno (AELENEI, 2008)

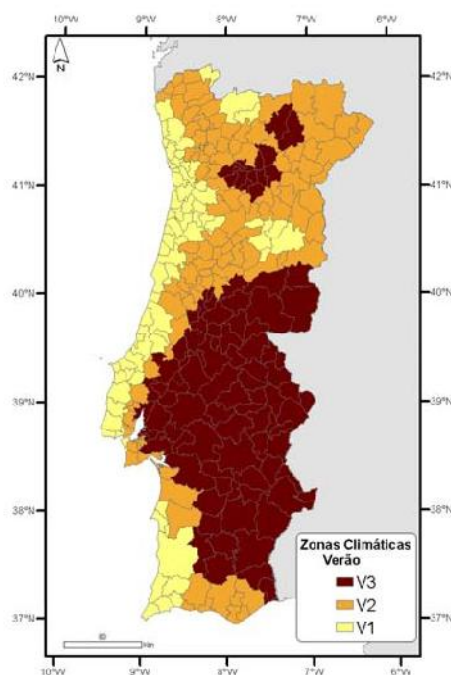


Figura 49 - Portugal continental. Zonas climáticas de verão (AELENEI, 2008)

Na secção 4.2 são apresentadas as diversas soluções dos elementos construtivos da habitação. Estas variam nos materiais de suporte e nos materiais de isolamento térmico.

As soluções apresentadas para a construção tradicional são com elementos em betão armado e tijolo cerâmico e para a construção modular em madeira, aço e betão.

Realiza-se um estudo comparativo das diversas soluções avaliando o desempenho dos materiais e da solução no global, nas diferentes fases de ciclo de vida e considera-se como solução base a construção tradicional de paredes duplas de tijolo vazado e cobertura inclinada de telha cerâmica.

Este estudo é dividido em três fases:

- A fase inicial, **“Cradle-to-gate”** (“Do berço à porta”), na qual só se considera uma parte do ciclo de vida do produto, ou seja, desde a extração (berço) até à porta da fábrica. Tal como Mateus (2009) refere, que a extração de matérias-primas, o transporte e o processo de produção de produtos ou materiais originam impactes ambientais pertencentes à fase cradle-to-gate. Os impactes do transporte dos materiais da fábrica ao local do estaleiro e do processo de construção da habitação não são contabilizados nesta fase (MATEUS, 2009);
- Fase de **utilização e manutenção**, em que se considera manutenção e as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento da habitação;
- E por último a fase de **fim de vida**, esta reporta aos impactes associados ao cenário fim de vida que foi adotado.

Na secção 4.3 será apresentada a metodologia aplicada no estudo da avaliação de ciclo vida da habitação em causa e na secção 4.4 serão discutidos os resultados.

Em suma, com este estudo espera-se obter uma avaliação ambiental e energética das várias soluções construtivas propostas.

4.2. Soluções construtivas em estudo

Neste capítulo serão analisados os vários elementos constituintes da habitação em causa para várias soluções distintas.

As soluções escolhidas tiveram em conta as construções mais frequentes em Portugal e são comparáveis entre si devido ao uso de diferentes materiais.

Solução 1 – Construção tradicional com parede dupla:

- Parede exterior dupla em alvenaria de tijolo vazado com isolamento térmico pela caixa de ar em poliestireno extrudido (XPS);
- Parede interior simples de tijolo vazado;
- Cobertura inclinada de vara e ripa em betão armado e pré-esforçado e telha cerâmica tipo lusa;
- Laje de esteira de vigotas de betão armado e pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas;
- Laje de piso de vigotas de betão armado e pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas.

Solução 2 – Construção tradicional com parede simples:

- Parede simples em alvenaria de tijolo vazado com isolamento pelo exterior em poliestireno expandido (EPS);
- Parede interior simples de tijolo vazado;
- Cobertura plana não transitável de vigota e abobadilha cerâmica;
- Laje de piso em betão armado.

Solução 3 – Construção modular em pinho nórdico:

- Parede exterior dupla em pinho nórdico com isolamento térmico pelo interior da caixa de ar em placas de aglomerado negro de cortiça;
- Parede interior dupla em pinho nórdico;
- Cobertura inclinada de vara e ripa em madeira maciça e telha cerâmica tipo lusa;
- Laje de esteira em pinho nórdico;
- Laje de piso em betão armado e pavimento flutuante.

Solução 4 – Construção modular em contraplacado marítimo e OSB:

- Parede Exterior dupla em contraplacado marítimo e OSB com isolamento em lã de rocha pelo interior;
- Parede interior dupla em painéis de OSB;
- Cobertura inclinada de vara e ripa em madeira maciça e telha cerâmica tipo lusa;
- Laje de esteira em painéis de OSB com isolamento em placas de lã de rocha pelo interior da caixa de ar;
- Laje de piso em estrutura de madeira maciça e pavimento flutuante.

Solução 5 – Construção modular metálica:

- Parede exterior dupla com o pano exterior em chapa galvanizada e pano interior em gesso cartonado;
- Parede interior dupla em gesso cartonado;
- Cobertura plana com estrutura de suporte em aço leve;
- Laje de piso em estrutura metálica e painéis em madeira.

Solução 6 – Construção modular em betão:

- Parede exterior dupla com pano exterior em betão reforçado com fibra de vidro e pano interior em gesso cartonado;
- Parede interior dupla em gesso cartonado;
- Cobertura plana em betão reforçado com fibra de vidro;
- Laje de piso em estrutura metálica e painéis em madeira.

4.2.1. Solução 1 - Construção tradicional com parede dupla

Descrição da solução construtiva – Parede exterior

A parede exterior da solução 1 (figura 50) apresenta um pano exterior em alvenaria de tijolo vazado de 15 cm e um pano interior em alvenaria de tijolo vazado de 11 cm. Estes encontram-se separados por uma caixa de ar com quatro centímetros de espessura que está parcialmente preenchida pelo isolante térmico em placas de poliestireno extrudido com quatro centímetros de espessura e fixado na pano interior. O pano exterior, encontra-se revestido com um reboco de argamassa tradicional com dois centímetros de espessura e o pano interior com 1,5 cm de espessura.

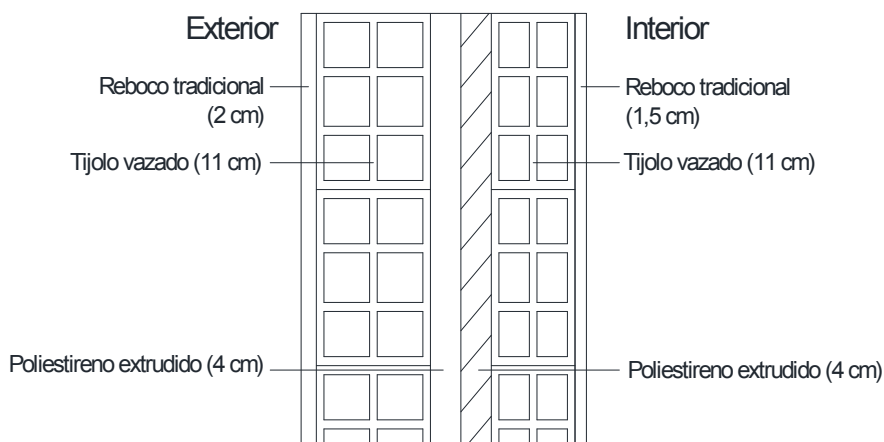


Figura 50 - Parede dupla exterior em tijolo de alvenaria vazado.

Descrição da solução construtiva – Parede interior

A parede interior da solução 1 (figura 51) apresenta um simples pano em alvenaria de tijolo vazado de 11 cm de espessura. Ambos os lados encontram-se revestidos com reboco tradicional com 1,5 cm de espessura.

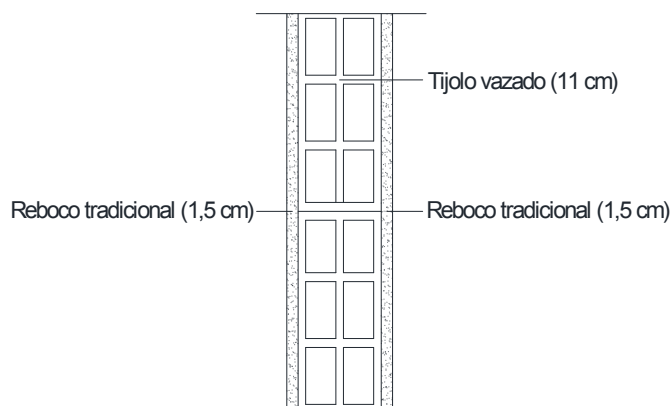


Figura 51 - Parede interior simples de tijolo vazado.

Descrição da solução construtiva – Cobertura

Apresenta-se uma cobertura fortemente ventilada (figura 52), composta por vigotas em betão armado e pré-esforçado com a direção da pendente da cobertura, ripas de betão armado com cinco centímetros de altura chumbadas perpendicularmente às vigotas e telha cerâmica tipos lusa.

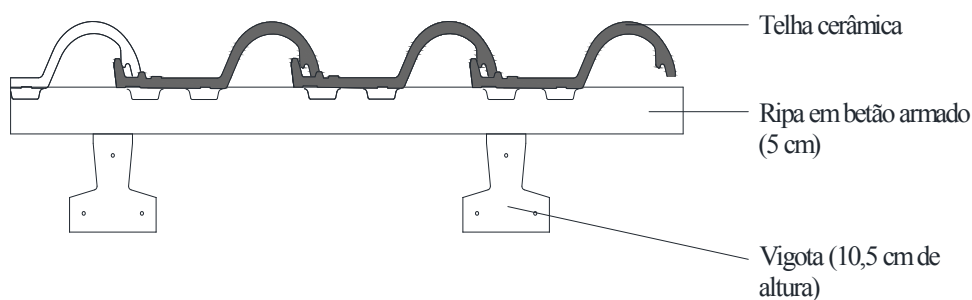


Figura 52 - Cobertura inclinada de vara e ripa em betão.

Descrição da solução construtiva – Laje de esteira

A laje de esteira (figura 53) em estudo é uma laje de vigotas e abobadilhas cerâmicas em que estas apresentam uma espessura de 12 cm e são colocadas sobre as vigotas. As abobadilhas apresentam a vantagem de tornarem a laje mais leve e servirem como cofragem perdida. Sobre as vigotas e as abobadilhas será colocada uma camada de betão

armado com rede electrossoldada, seguidamente sobrepõem-se o isolante térmico em poliestireno expandido extrudido de quatro centímetros, uma barreira impermeável entre o betão e o isolante e outra entre o isolante e o betão leve em polietileno, e uma camada de betão leve de dois centímetros de espessura. O teto será revestido com um reboco de argamassa tradicional com dois centímetros de espessura.

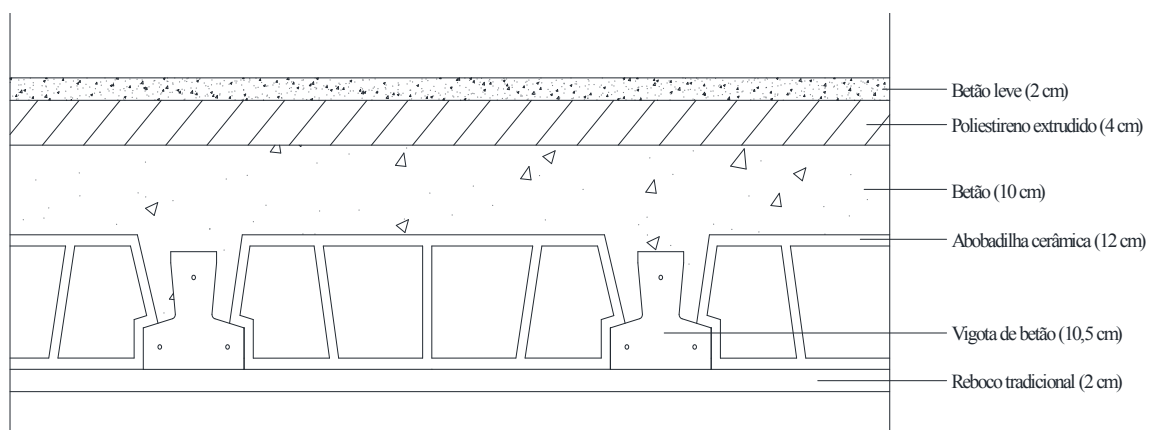


Figura 53 - Laje de esteira de vigotas e abobadilhas.

Descrição da solução construtiva – Laje de piso

A laje de piso apresenta a mesma estrutura que a laje de esteira, com a diferença da aplicação do revestimento final em tijoleira cerâmica sobre a camada de betão leve com uma espessura de dois centímetros.

4.2.2. Solução 2 - Construção tradicional com parede simples

Descrição da solução construtiva – Parede exterior

Para a solução 2 será estudada uma parede simples com um sistema de ETIC (figura 54). Este sistema é aplicado sobre um suporte que neste caso será o pano em alvenaria de tijolo vazado com 22 cm de espessura, de seguida é fixado o isolante térmico de poliestireno expandido de 5 cm de espessura. Sobre este é aplicada uma camada base de argamassa armada com fibra de vidro e com uma espessura de 2 cm, finalizando com uma camada de primário e revestimento final de 1,5 cm de espessura.

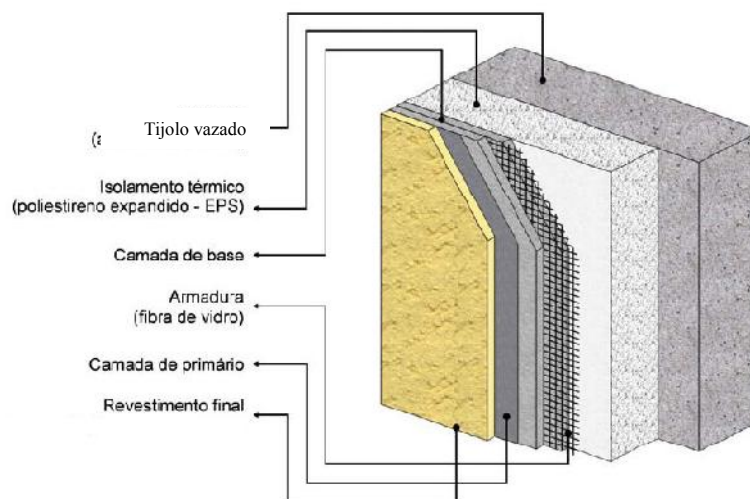


Figura 54 - Camadas constituintes do sistema ETIC (CONSTRULINK, 2007).

Descrição da solução construtiva – Parede interior

A parede interior a estudar na solução 2 é igual à parede interior da solução 1.

Descrição da solução construtiva – Cobertura

Para esta solução (figura 55) realiza-se o estudo da cobertura plana invertida. Este tipo de cobertura é constituída por um revestimento de teto em reboco de argamassa tradicional, seguidamente é constituída por uma estrutura resistente de 20 cm de espessura composta por vigotas, abobadilhas e uma camada de betão armado. É colocada uma camada de regularização em betão leve de 5 cm de espessura, uma película para-vapor em polietileno, para que a humidade da condensação não atinja o isolante térmico, perdendo este as suas características térmicas no caso de absorver o vapor de água. Este isolante é composto por poliestireno expandido de 4 cm de espessura. Coloca-se um sistema de impermeabilização sobre o isolante para mais uma vez proteger este de alguma infiltração de água pela cobertura, mas, o sistema de impermeabilização também necessita de ser protegido dos raios solares porque trata-se de um polímero (sensível à radiação UV), sendo assim, protege-se com uma camada de godo solto com uma espessura de 10 cm.

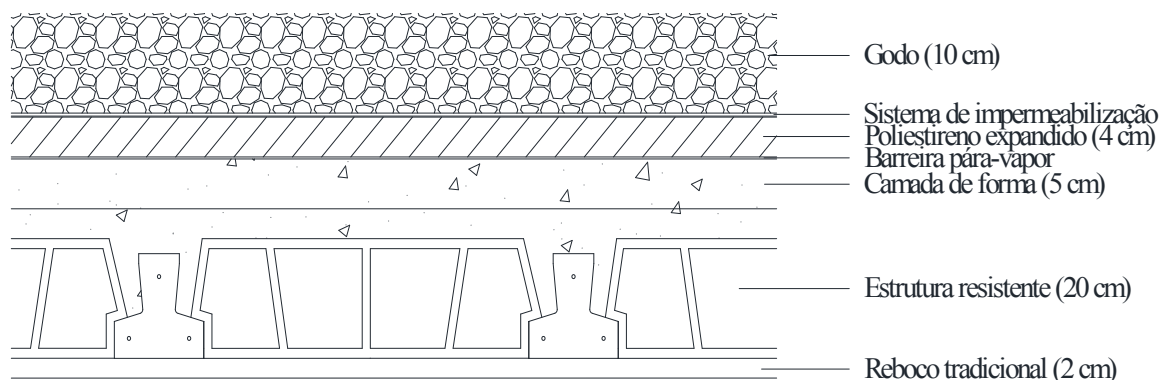


Figura 55 - Cobertura plana invertida

Descrição da solução construtiva – Laje de piso

A laje de piso (figura 56) é composta por uma estrutura resistente de betão armado maciço com 20 cm de espessura, sendo a seguinte, uma camada de forma de betão leve com cinco centímetros de espessura. Para poder diminuir as perdas energéticas é criada uma camada de isolante térmico em poliestireno expandido com 4 cm de espessura, este, encontra-se protegido de ambos os lados por uma barreira para-vapor em polietileno para impedir o humedecimento do isolante pela humidade. Para finalizar aplica-se uma ultima camada de betão leve com 4 cm de espessura armada com rede electrossoldada e termina-se com um revestimento cerâmica cm 1,5 cm de espessura.

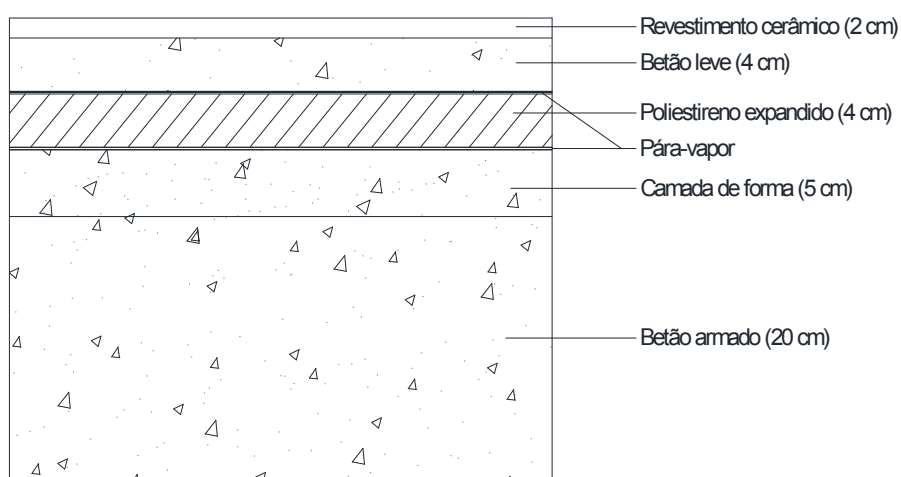


Figura 56 - Laje de betão maciço

4.2.3. Solução 3 - Construção modular em pinho nórdico

Descrição da solução construtiva – Parede exterior

A solução construtiva (figura 57) em causa apresenta um pano exterior em pinho nórdico com 4,5 cm de espessura e um pano interior em pinho nórdico com 3,5 cm de espessura. O panos encontram-se separados por uma caixa de ar de 10 cm e parcialmente preenchida no seu interior com isolante térmico em placas de cortiça negra com 6 cm de espessura. O isolamento é fixado ao pano interior e apresenta uma espessura superior às soluções anteriores para compensar a falta de inércia térmica.

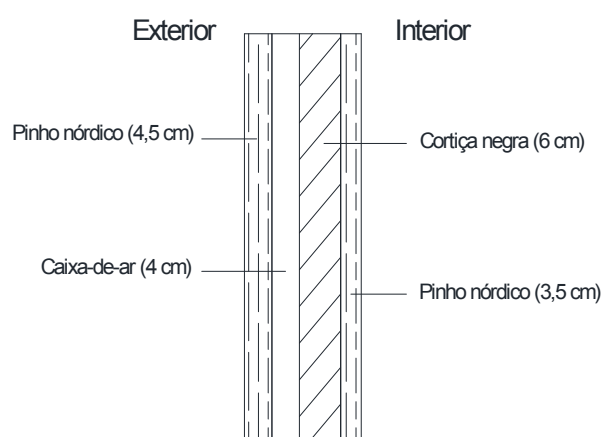


Figura 57 - Parede exterior dupla em pinho nórdico

Descrição da solução construtiva – Parede interior

Nesta solução construtiva (figura 58), apresenta-se uma parede dupla em que ambos os panos são em pinho nórdico com 3,5 cm de espessura. Estes, encontram-se separados entre si por uma caixa de ar de 3 cm de espessura.

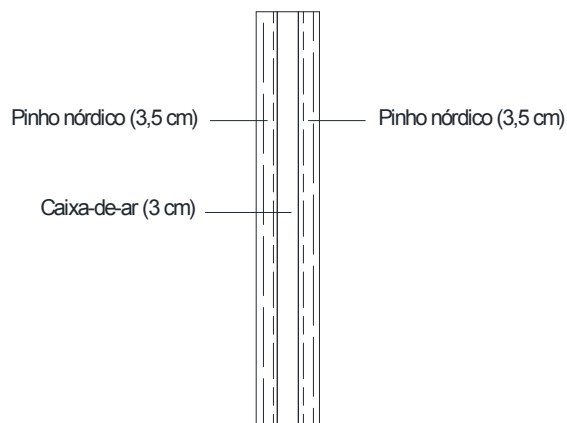


Figura 58 - Parede interior dupla em pinho nórdico

Descrição da solução construtiva – Cobertura

Para a cobertura da solução 3 (figura 59) optou-se por uma cobertura inclinada, constituída por varas em pinho nórdico com 15 cm de altura e ripas do mesmo material e com 4 cm de espessura. A telha usada é a mesma da solução 1, sendo telha cerâmica tipo lusa.

As ripas são ligadas às varas por conectores metálicos e estão igualmente espaçadas entre si com uma distância pelo tamanho da telha cerâmica.

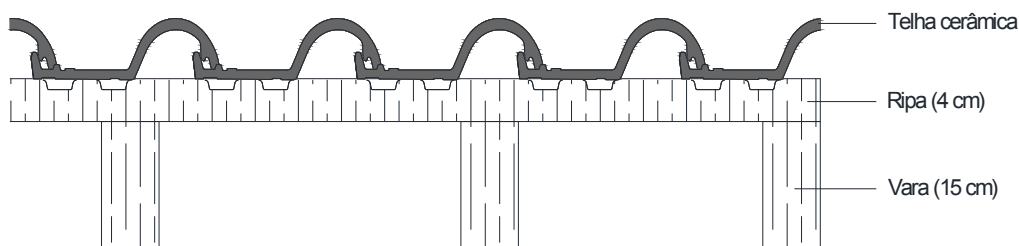


Figura 59 - Cobertura inclinada em madeira maciça de vara e ripa

Descrição da solução construtiva – Laje de esteira

A laje de esteira da solução 3 (figura 60) apresenta um teto em pinho nórdico com 2 cm de espessura e encontra-se ligado às varas por conectores metálicos. O isolante térmico em placas de cortiça negra, encontra-se entre as varas e apresenta uma espessura de 4 cm de espessura, as varas têm uma dimensão de 15 cm de altura. A habitação da solução 3 apresenta um sótão então, é colocado um piso em pinho nórdico com 4 cm ligado às varas, tornando assim esta laje transitável.

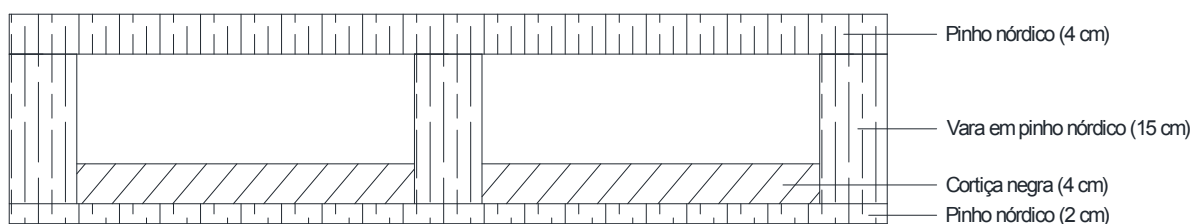


Figura 60 - Laje de esteira em pinho nórdico

Descrição da solução construtiva – Laje de piso

A laje de piso da solução 3 (figura 61), trata-se de uma laje em betão armado com 20 cm de espessura, sobreposta por uma camada de forma em betão de 5 cm de espessura. Sobre esta, é colocada uma barreira para-vapor em polietileno com 1 mm de espessura de forma a

evitar o humedecimento do isolante térmico. O pavimento flutuante é em pinho nórdico de 4 cm de espessura e está separado da laje de betão por uma caixa de ar parcialmente preenchida por isolante térmico em placas de cortiça negra com 4 cm de espessura, com apoio sobre varas de pinho nórdico de 6 cm de espessura.

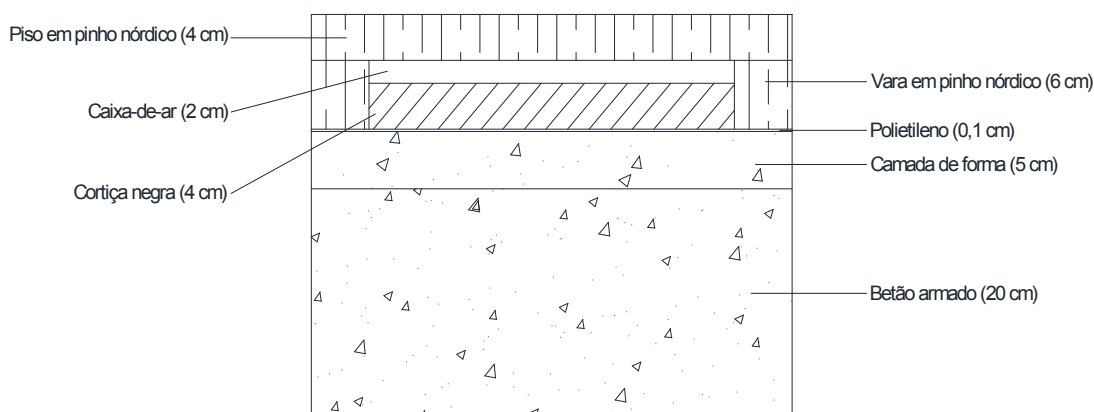


Figura 61 - Laje de piso em betão armado e pavimento flutuante em pinho nórdico

4.2.4. Solução 4 - Construção modular em contraplacado marítimo e OSB

Descrição da solução construtiva – Parede exterior

Para parede exterior da solução 4 (figura 62) optou-se por realizar o pano exterior em contraplacado marítimo de 3 cm de espessura e pano interior em OSB (Oriental Strand Board) com 1,5 cm de espessura.

Os dois panos estão separados pelo o isolante térmico em placas de lã de rocha com 4 cm de espessura.

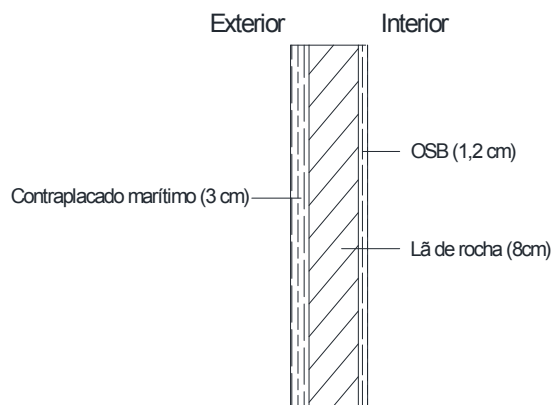


Figura 62 - Parede exterior dupla em contraplacado marítimo e OSB

Descrição da solução construtiva – Parede interior

A parede interior da solução 4 (figura 63) é composta por dois panos de parede em OSB com 1,5 cm de espessura e que distam entre si por uma caixa de ar com 5 cm de espessura.

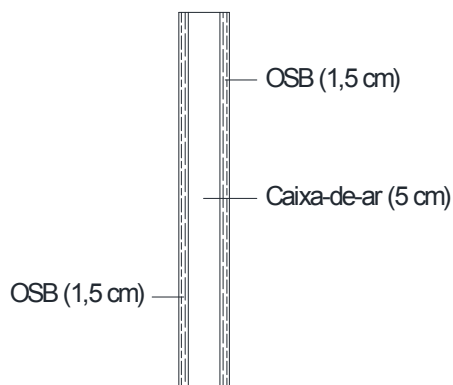


Figura 63 - Parede interior dupla em OSB

Descrição da solução construtiva – Cobertura

A cobertura para a solução 4, é igual à na solução 3.

Descrição da solução construtiva – Laje de esteira

Esta laje de esteira apresenta semelhanças com o corte esquemático do ponto 4.2.3.4, mas apresenta as variantes seguintes, o teto de pinho nórdico de 2 cm e o piso de pinho nórdico de 4 cm são substituídos por painéis de OSB com a mesma espessura, o isolamento é também substituído por placas de lã de rocha com a mesma espessura e as varas apresentam as mesmas, ou seja, em pinho nórdico de 15 cm de altura.

Descrição da solução construtiva – Laje de piso

A solução construtiva da laje de piso para a solução 4 (figura 64) apresenta como estrutura de suporte vigas em madeira maciça de pinho nórdico com 20 cm de altura, estas assentam sobre vigas previamente criadas em betão armado perpendicularmente a si com 20cm de largura e altura. Entre as vigas de madeira é projetado numa camada contínua de poliuretano expandido com 10 cm de espessura. Sobre as vigas são colocadas painéis de contraplacado marítimo com 4 cm de espessura e como revestimento final será utilizado pavimento em painéis de cortiça tipo Corkcomfort (WICANDERS, 2011) com 6 mm de espessura.

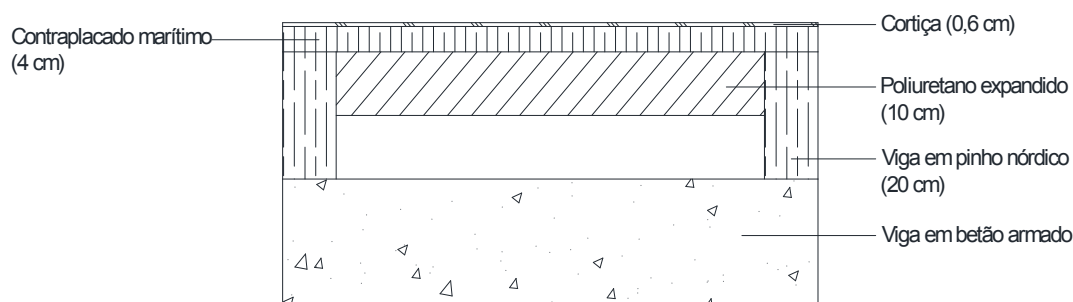


Figura 64 - Laje de piso em vigas de madeira

4.2.5. Solução 5 - Construção modular metálica

Descrição da solução construtiva – Parede exterior

A solução construtiva da parede exterior (figura 65) apresenta uma um pano exterior em chapa galvanizada com 1 mm de espessura e um pano interior em gesso cartonado com 1,3 cm de espessura. A separação entre estes dois panos é preenchida com o isolante térmico de palha de cortiça com 8 cm de espessura e não apresenta caixa de ar. A estrutura da parede são perfis em aço leve.

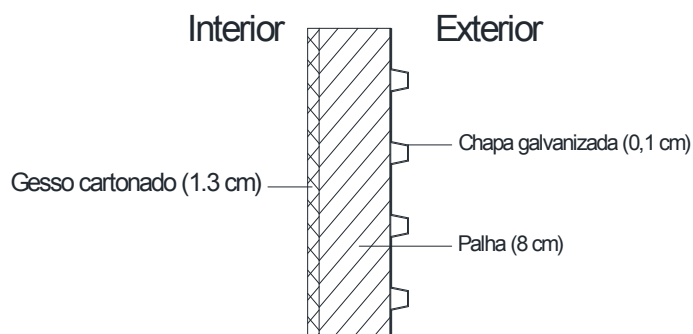


Figura 65 - Parede exterior em chapa galvanizada e gesso cartonado

Descrição da solução construtiva – Parede interior

A solução construtiva da parede interior da solução 5 (figura 66) apresenta dois panos de parede em gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e com uma caixa de ar a espaçar os panos de 3 cm.

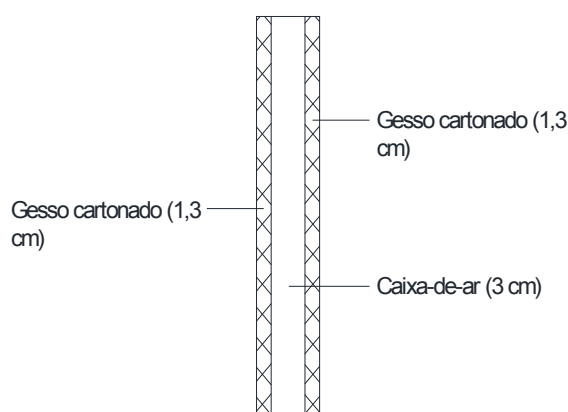


Figura 66 - Parede interior em gesso cartonado

Descrição da solução construtiva – Cobertura

Esta solução construtiva (figura 67) trata-se de uma cobertura plana com estrutura de suporte em aço leve. Os perfis em aço leve têm uma altura de 14 cm e no espaçamento entre estes temos uma caixa de ar parcialmente preenchida com isolante térmico em palha com 6 cm de espessura. Sobre a estrutura de suporte apresenta-se painéis de contraplacado marítimo com 3 cm de espessura que se encontram protegidos por 5 cm de godô que protegem dos raios UV, uma película de polietileno com 1 mm de espessura e uma imprimação asfáltica com 2 mm de espessura. O teto é em gesso cartonado com 1,3 cm de espessura e encontra-se sob a estrutura de suporte.

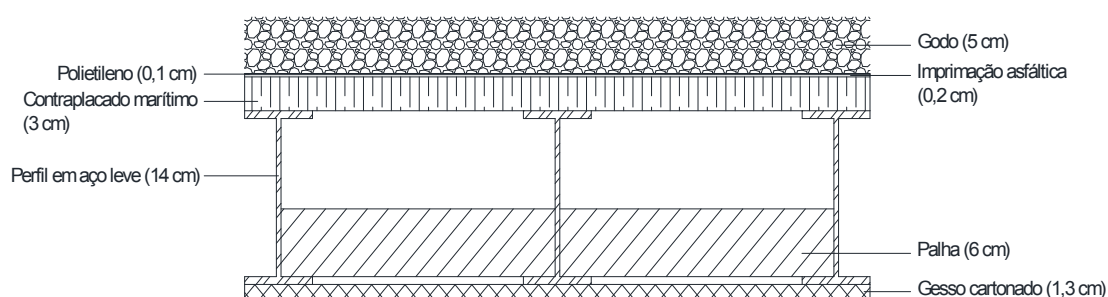


Figura 67 - Cobertura plana em aço leve

Descrição da solução construtiva – Laje de piso

A laje de piso da solução 5 (figura 68) apresenta como solução construtiva uma estrutura de suporte em vigas de aço com 14 cm de altura apoiadas sobre vigas de betão. O isolante térmico aplicado é poliuretano projetado com 10 cm de espessura e encontra-se entre os vários perfis. Sobre os perfis estão colocados painéis de contraplacado marítimo com 4 cm

de espessura e sobre este é colocado o revestimento final em cortiça tipo Corkconfort (WICANDERS, 2011) com 6 mm de espessura.

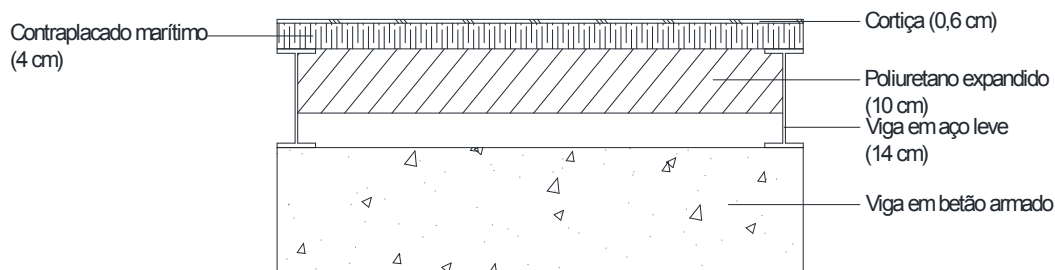


Figura 68 - Laje de piso com estrutura de suporte em vigas de aço

4.2.6. Solução 6 - Construção modular em betão

Descrição da solução construtiva – Parede exterior

A solução construtiva (figura 69) da parede exterior apresenta um pano exterior de betão armado com fibra de vidro com 3 cm e um pano interior em painéis de gesso cartonado com 1,3 cm de espessura. Estes dois panos encontram-se separados por uma caixa de ar com 8 cm de espessura e parcialmente preenchida pelo isolante térmico em poliuretano flexível com 4 cm de espessura.

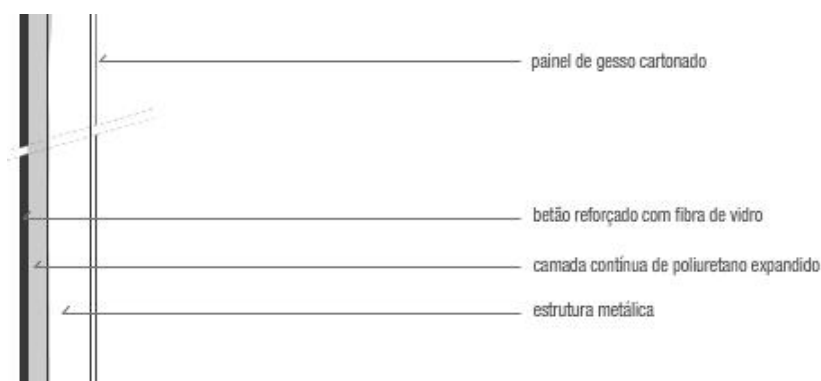


Figura 69 - Parede exterior em betão reforçado com fibra de vidro (SIT, 2011)

Descrição da solução construtiva – Parede interior

Esta solução construtiva é igual à aplicada na solução 5.

Descrição da solução construtiva – Cobertura

A cobertura escolhida para esta solução construtiva (figura 70) foi: teto em gesso cartonado com 1,3 cm de espessura, perfis metálicos em aço com 14 cm de altura, caixa de ar com 8 cm de altura e parcialmente preenchida por poliuretano expandido com 6 cm de espessura, betão reforçado com fibra de vidro e 5 cm de espessura e para finalizar, aplicou-se uma impermeabilização da superfície exterior com membrana elástica.

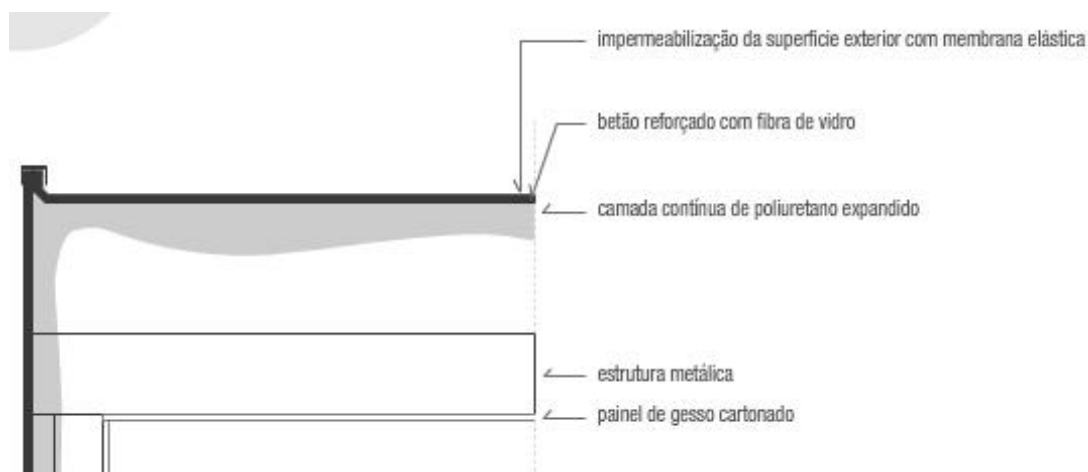


Figura 70 - Cobertura plana em betão reforçado com fibra de vidro (SIT, 2011)

Descrição da solução construtiva – Laje de piso

A solução construtiva para esta laje de piso é igual à da solução 5.

4.3. Metodologia aplicada

Para efetuar a análise dos impactos ambientais e energéticos das diversas soluções construtivas, utilizou-se uma metodologia de avaliação ciclo de vida. A quantificação das categorias de impacto ambiental foi realizada através do método CML 2001 com recurso do programa SimaPro e para a quantificação dos impactos energéticos foi utilizado o método NEA.

4.3.1. Metodologia aplicada na avaliação dos impactos ambientais utilizando o método CML 2001

O método CML 2001, tem dez categorias de impacto na versão de linha de base sendo estas, o potencial de destruição da camada de ozono, potencial de toxicidade humana,

potencial de ecotoxicidade aquática de água doce, potencial de ecotoxicidade aquática marinha, potencial de ecotoxicidade terrestre, potencial de formação de ozono fotoquímico, potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial dos recursos abióticos e potencial de eutrofização (FERREIRA, 2004, MONTEIRO et al., 2011, PRÉ, 2008). Na tabela 3 apresentam-se as categorias de impacto ambiental utilizadas neste estudo, o respetivo acrónimo e unidades do método CML 2001.

Tabela 4 - Categorias de impacto ambiental e unidades de quantificação do CML 2001 (FERREIRA, 2004, MATEUS, 2009)

Categorias de impacto ambiental	Acrónimo	Unidades
Potencial dos recursos abióticos	ADP	kg Sb eq
Potencial de acidificação	AP	kg SO ₂ eq
Potencial de eutrofização	EP	kg PO ₄ eq
Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO ₂ eq
Potencial de destruição da camada de ozono	ODP	kg CFC-11 eq
Potencial de formação de ozono fotoquímico	POCP	kg C ₂ H ₄ eq

O estudo destas categorias foi feito para as três fases de ciclo de vida descritas na secção 4.1.

Para que fosse possível determinar os diferentes impactes das diversas soluções construtivas apresentadas na secção 4.2, foi necessário fazer um levantamento de valores de impacto ambiental dos respetivos materiais utilizando o método em causa utilizando a base de dados do SimaPro. Os valores extraídos do programa eram referentes a 1 kg de material. Para obtendo o impacto das várias soluções construtivas na fase cradle-to-gate, determinou-se a massa total de cada material e multiplicou-se pelo valor de impacto, obtendo-se o resultado do impacto por kg de material.

Quanto à fase de utilização e manutenção, foram calculados os impactes ambientais causados pelas necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento para a utilização e para a manutenção o impacto ambiental causado pela substituição dos materiais.

O impacto da substituição dos materiais entra na fase do cradle-to-gate com a multiplicação do impacto tantas vezes quantas as substituições

Segundo Mateus (2009), os revestimentos cerâmicos necessitam de substituição de 20 em 20 anos (2 substituições), as pinturas de 8 em 8 anos (6 substituições) e os restantes materiais não necessitam de ser substituídos ao longo dos 50 anos (MATEUS, 2009).

Para o estudo das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento (anexo 1), recorreu-se ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) tentando cumprir todos os seus requisitos mínimos estabelecidos (RCCTE, 2006). O cálculo é feito para uma zona climática I1V1 e para uma zona climática I3V3.

Para o cálculo considera-se que a habitação não tem contacto direto com o solo e como o decreto-lei nº 26/2010 impõe a utilização de coletores solares nas habitações (DECRETO-LEI26/2010, 2010), foi utilizado para o cálculo um coletor solar térmico padrão de 4 módulos com 1 m² cada. A estimativa do desempenho do sistema solar térmico deste coletor foi calculada recorrendo ao programa SolTerm 5.1 (LNEG, 2009), patente no anexo 2.

Os valores obtidos para as necessidades nominais são em kWh/m².ano, sendo convertidos para MJ com a multiplicação por 3,6 (1 kWh = 3,6 MJ), por 50 anos e pela área total da habitação.

De seguida, retirou-se os impactes causados por 1 MJ de energia, considerando eletricidade de média voltagem para um mix energético (eólica, hídrica, entre outros) português e são multiplicados pelos valores das necessidades nominais em MJ.

Finalmente para a fase de fim de vida, o cálculo é idêntico à fase cradle-to-gate, mas, considerou-se os impactes do transporte dos resíduos da demolição da habitação ao depósito e foram simulados dois cenários para os impactes dos resíduos.

No primeiro cenário considera-se que 30% do betão, argamassas e cerâmicos são reutilizados para agregados reciclados grossos (DECRETO-LEI46/2008, 2008) e aplica-se na solução 1 e 2.

No segundo cenário considera-se que 80% dos aços, 30% dos betões e 50% das madeiras são reciclados, os restantes serão colocados em aterro e aplica-se às soluções 3 a 6.

Para o cálculo dos impactes ambientais dos resíduos são apenas contabilizados dos materiais que foram para aterro por falta de dados quanto aos impactes da reciclagem.

Para os impactes dos transportes, é considerado um camião de 25 toneladas e obteve-se pela base de dados do SimaPro os impactes ambientais para este camião em t/km. Obtendo estes valores procedeu-se a um levantamento dos pesos dos diferentes materiais aplicados nas

diversas soluções em toneladas e multiplicou-se pela distância em km do local de implantação da habitação até ao local de depósito, sendo esta distância considerada de 50 km. Os impactes relativos ao transporte foram multiplicados na totalidade dos materiais porque mesmo os materiais que são para reciclagem considerou-se que estes vão ser transportados para um local de armazenamento e tratamento com a mesma distância.

Para finalizar o cálculo na fase de fim de vida, os impactes ambientais de depósito de materiais são somados aos impactes ambientais relativos ao transporte.

4.3.2. Metodologia aplicada na avaliação dos impactes energéticos utilizando o método das Necessidades de Energia Acumulada (NEA)

O método das necessidades de energia acumulada (NEA) ou do inglês (Cumulative Energy Demand (CED)), calcula a quantidade total de energia necessária durante todo o ciclo de vida do edificado. No seu cálculo são distinguidas as fontes de energia utilizadas, podendo ser energias renováveis e energias não renováveis, como é demonstrado na tabela 4.

Tabela 5 - Categorias de impacto ambiental e unidades pelo método NEA (MATEUS, 2009)

Categorias de impacto ambiental	Acrónimo	Unidades
Energia não-renovável incorporada	ENR	MJ eq
Energia renovável incorporada	ER	MJ eq

O cálculo das necessidades de energia acumulada permite avaliar o desempenho energético da habitação nas várias fases do seu ciclo de vida.

A metodologia aplicada para o cálculo das várias fases é exatamente o mesmo que o aplicado na metodologia do método CML 2001.

A unidade funcional utilizada neste estudo é o MJ.

4.4. Resultados e discussão

4.4.1. Resultados das massas totais de cada material para cada solução construtiva

A tabela 6 apresenta os resultados das massas dos materiais utilizados nas diversas soluções construtivas. Estas massas são utilizadas no cálculo dos impactos ambientais e energéticos para a fase cradle-to-gate e fase fim de vida.

Tabela 6 - Massas totais dos materiais para cada solução construtiva

Solução 1	Massa (ton)	Solução 2	Massa (ton)
Tijolo cerâmico vazado	76,021	Tijolo cerâmico vazado	67,437
Poliestireno extrudido (XPS)	0,524	Argamassa	22,553
Argamassa	28,036	Poliestireno expandido (EPS)	0,379
Vigota	15,646	Vigota	3,788
Ripa	3,257	Godo	24,098
Telha lusa	7,921	Betão leve	12,121
Abobadilhas cerâmicas	43,261	Abobadilhas cerâmicas	25,108
Betão	72,150	Betão	90,188
Polietileno	0,017	Polietileno	0,017
Betão leve	12,121	Revestimento cerâmico	4,993
Revestimento cerâmico	4,993		
Solução 3	Massa (ton)	Solução 4	Massa (ton)
Pinho nórdico	24,222	Contraplacado marítimo	4,340
Aglomerado negro de cortiça	5,556	Lã de rocha	0,528
Telha lusa	7,921	OSB	7,119
Polietileno	0,009	Pinho nórdico	7,723
Betão	90,188	Telha lusa	7,921
		Betão	15,873
		Poliuretano expandido	0,385
		Revestimento em cortiça	0,260
Solução 5	Massa (ton)	Solução 6	Massa (ton)
Chapa galvanizada	0,003	Betão com fibra de vidro	27,972
Palha	5,637	Poliuretano flexível	0,178
Gesso cartonado	5,181	Gesso cartonado	5,181
Aço leve	50,747	Poliuretano expandido	0,727
Contraplacado marítimo	4,906	Aço	50,747
Polietileno expandido	0,009	Membrana asfáltica	0,462
Membrana asfáltica	0,462	Betão	15,873
Godo	12,049	Contraplacado marítimo	2,453
Poliuretano expandido	0,364	Revestimento em cortiça	0,260
Revestimento em cortiça	0,260		
Betão	15,873		

4.4.2. Resultados das necessidades de aquecimento e arrefecimento

A tabela 7, apresenta os valores das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento das soluções construtivas em MJ com base no método do RCCTE (RCCTE, 2006) para a zona climática IIV1 e a tabela 8 apresenta os valores das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento para a zona climática I3V3.

Tabela 7 - Necessidade nominais de aquecimento e arrefecimento em MJ para a zona climática IIV1

Solução	Aquecimento (10^3MJ)	Arrefecimento (10^3MJ)
Solução 1	1590	76
Solução 2	1663	40
Solução 3	1267	117
Solução 4	1304	116
Solução 5	1827	103
Solução 6	1110	63

Tabela 8 - Necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento em MJ para a zona climática I3V3

Solução	Aquecimento (10^3MJ)	Arrefecimento (10^3MJ)
Solução 1	3474	170
Solução 2	3624	138
Solução 3	2799	213
Solução 4	2872	235
Solução 5	3877	229
Solução 6	2566	179

Comparando os valores da tabela 7 com a tabela 8 verifica-se que as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento para a zona climática IIV1 são inferiores à metade dos valores para a zona climática I3V3.

4.4.3. Resultados e justificação da metodologia de cálculo CML 2001

As tabelas 9 a 14 apresentam os resultados do desempenho ambiental das diversas soluções construtivas para as três fases de ciclo de vida para a implantação da habitação numa zona climática IIV1.

Tabela 9 - Desempenho ambiental da solução 1 na zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	3,28E+02	1,54E+02	1,68E+01	6,42E+04	6,85E-02	5,57E+00
Utilização e manutenção	2,17E+03	2,58E+03	1,16E+02	2,85E+05	2,05E-02	1,17E+01
Fim de vida	9,72E+00	3,36E+01	3,27E+00	5,12E+03	2,41E-04	3,18E-01
Total	2,51E+03	2,76E+03	1,36E+02	3,54E+05	8,92E-02	1,76E+01

Tabela 10 - Desempenho ambiental da solução 2 na zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	2,43E+02	1,15E+02	1,31E+01	4,76E+04	3,81E-03	4,06E+00
Utilização e manutenção	2,22E+03	2,63E+03	1,18E+02	2,91E+05	2,09E-02	1,20E+01
Fim de vida	1,19E+01	3,24E+01	2,80E+00	3,90E+03	2,05E-04	2,68E-01
Total	2,47E+03	2,78E+03	1,34E+02	3,43E+05	2,49E-02	1,63E+01

Tabela 11 - Desempenho ambiental da solução 3 na zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	3,68E+02	2,71E+02	5,53E+01	4,89E+04	6,39E-03	3,68E+01
Utilização e manutenção	1,80E+03	2,14E+03	9,60E+01	2,37E+05	1,70E-02	9,73E+00
Fim de vida	4,96E+01	4,18E+01	4,52E+00	-3,17E+04	2,85E-03	3,92E-01
Total	2,22E+03	2,45E+03	1,56E+02	2,54E+05	2,63E-02	4,70E+01

Tabela 12 - Desempenho ambiental da solução 4 na zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	4,54E+04	2,23E+04	3,79E+03	-6,73E+06	4,22E-01	1,74E+03
Utilização e manutenção	1,85E+03	2,20E+03	9,85E+01	2,43E+05	1,75E-02	9,99E+00
Fim de vida	3,34E+01	3,61E+01	3,46E+00	-2,13E+04	1,96E-03	2,52E-01
Total	4,72E+04	2,45E+04	3,89E+03	-6,50E+06	4,42E-01	1,75E+03

Tabela 13 - Desempenho ambiental da solução 5 na zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	2,35E+04	1,43E+04	2,62E+03	-3,03E+06	3,15E-01	8,03E+02
Utilização e manutenção	2,52E+03	2,98E+03	1,34E+02	3,30E+05	2,37E-02	1,36E+01
Fim de vida	3,02E+01	3,54E+01	6,01E+00	-3,69E+03	1,06E-03	5,35E-01
Total	2,61E+04	1,73E+04	2,76E+03	-2,70E+06	3,40E-01	8,17E+02

Tabela 14 - Desempenho ambiental da solução 6 na zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	1,33E+04	8,05E+03	1,48E+03	-1,31E+06	1,84E-01	4,48E+02
Utilização e manutenção	1,53E+03	1,81E+03	8,13E+01	2,01E+05	1,44E-02	8,24E+00
Fim de vida	1,73E+02	1,51E+02	1,61E+01	2,88E+04	2,04E-03	1,53E+00
Total	1,50E+04	1,00E+04	1,57E+03	-1,08E+06	2,00E-01	4,58E+02

As figuras 71 à 76 mostram os impactos ambientais apresentados nas tabelas 9 a 14.

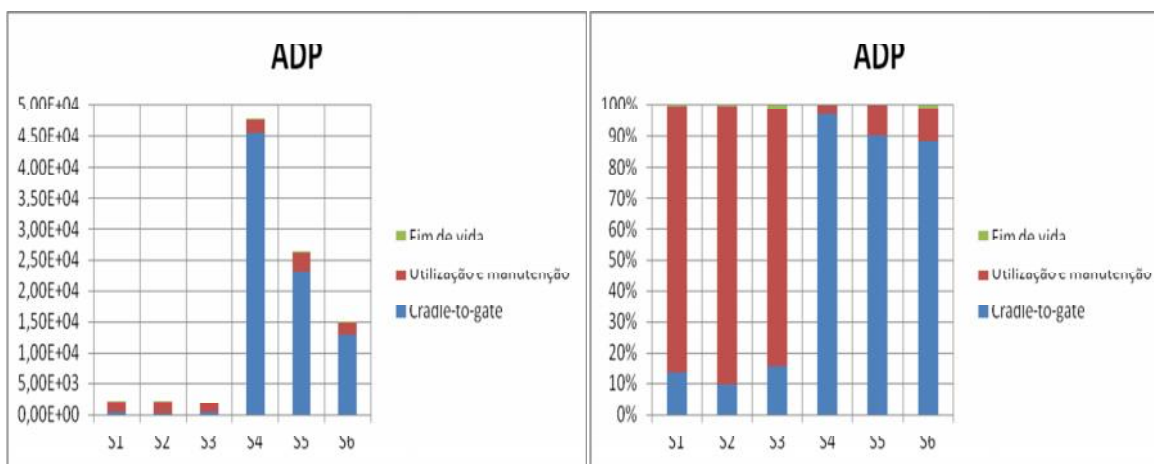


Figura 71 - Impactes ambientais para o potencial de recursos abióticos (ADP) das soluções construtivas numa zona climática II V1

Para o **potencial de recursos abióticos (ADP)**, na fase cradle-to-gate, destacam-se as soluções 4, 5 e 6 porque são as soluções que apresentam o maior valor deste impacto ambiental, devido à utilização de madeiras prensadas (contraplacado marítimo e OSB) e aço que têm grandes impactes no processo de fabrico.

As soluções 1, 2 e 3, apresentam valores idênticos, no entanto, destaca-se que são inferiores às soluções 4, 5 e 6. Na solução 1 e 2 os materiais cerâmicos (tijolos vazados, abobadilhas e telhas) são os que têm maior influência no aumento deste impacto. Na solução 3 é o pinho nórdico o responsável pelo aumento do ADP.

Na fase de utilização, as soluções 1, 2 e 4 apresentam os maiores impactes ambientais devido às necessidades nominais de aquecimento/arrefecimento serem mais elevadas.

Para a fase de fim de vida, são as soluções 3 e 4 que apresentam valores mais elevados para este potencial, isto deve-se à utilização do pinho nórdico, materiais cerâmicos, contraplacado e OSB.

As soluções 1, 2, 5 e 6 mostram valores semelhantes. Os maiores contribuintes para o aumento dos valores nas soluções 1 e 2 são: o betão e os materiais cerâmicos. Já para a solução 5 é o aço o maior contribuinte e para a solução 6 é o aço, o contraplacado marítimo e o betão reforçado com fibra de vidro.

Destaca-se, ainda, que a fase de utilização é a maior responsável para este impacto nas soluções 1, 2 e 3 e a fase cradle-to-gate nas soluções 4, 5 e 6.

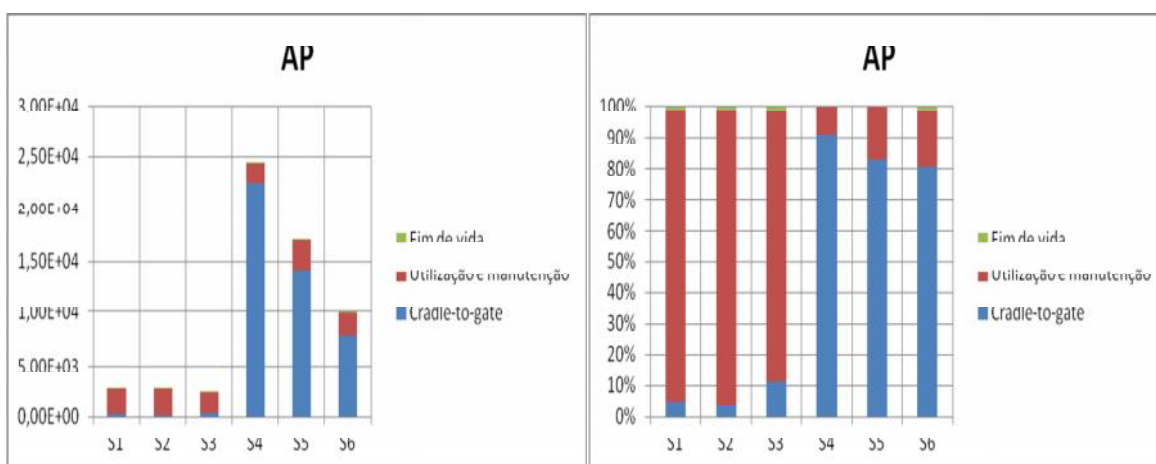


Figura 72 - Impactes ambientais para o potencial de acidificação (AP) das soluções construtivas numa zona climática II V1

Para o **potencial de acidificação (AP)**, na fase cradle-to-gate, verifica-se através da análise das figuras que as soluções 4, 5 e 6 por utilizarem madeiras prensadas, que apresentam grandes impactes no processo de produção, são as que mostram valores mais elevados.

As soluções 1, 2 e 3 apresentam valores idênticos, no entanto as soluções 1 e 2 são os materiais cerâmicos os maiores contribuintes para o aumento deste impacte. Na solução 3 é o pinho nórdico com maior influência.

Na fase de utilização, as soluções 1, 2 e 4 apresentam os maiores impactes ambientais devido às necessidades nominais de aquecimento/arrefecimento serem mais elevadas.

Relativamente à fase fim de vida, conclui-se que apesar das soluções 1, 2, 3 e 4 terem valores idênticos, para a solução 1 e 2 os materiais cerâmicos e o aço são os que mais contribuem para o aumento do AP, para a solução 3 é o pinho nórdico e os materiais cerâmicos, já para a solução 4 é o pinho nórdico, os materiais cerâmicos e as madeiras prensadas.

As soluções 5 e 6 apresentam valores menores de impacte para esta categoria, mas, os materiais que mais contribuem para o seu aumento são: o aço e o contraplacado marítimo para a solução 5 e, para a solução 6 é o aço, o contraplacado marítimo e o betão reforçado com fibra de vidro.

Destaca-se, ainda, que a fase de utilização é a maior responsável para este impacte nas soluções 1, 2 e 3 e a fase cradle-to-gate nas soluções 4, 5 e 6.

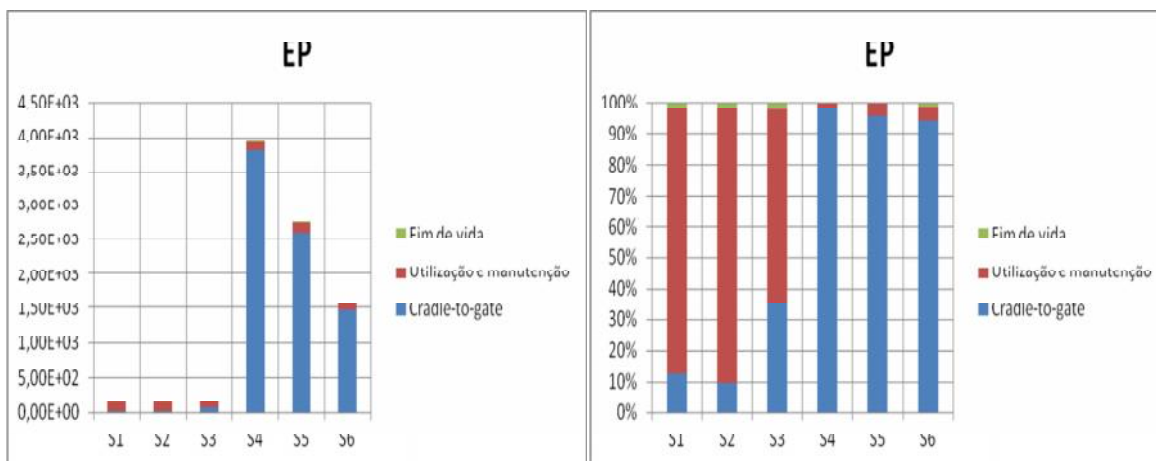


Figura 73 - Impactes ambientais para o potencial de eutrofização (EP) das soluções construtivas numa zona climática II V1

Quanto ao **potencial de eutrofização (EP)**, na fase cradle-to-gate, são as madeiras prensadas as responsáveis pelo aumento dos valores, devido aos grandes impactes no seu processo de produção, nas soluções 4, 5 e 6. Por outro lado, para as soluções 1, 2 são os materiais cerâmico que têm um maior influência para o aumento deste impacte, já para a solução 3 é o pinho nórdico.

Na fase de utilização, as soluções 1, 2 e 4 apresentam os maiores impactes ambientais devido às necessidades nominais de aquecimento/arrefecimento serem mais elevadas.

Por último, na fase de fim de vida, as soluções 3, 5 e 6 são as que apresentam maiores valores. Para a solução 3 desprende-se que é devido ao uso do betão e do pinho nórdico que existe o aumento dos valores, para a solução 5 são os maiores responsáveis o aço e o contraplacado marítimo e, finalmente para a solução 6 são o aço, o contraplacado marítimo e ao betão com fibra de vidro.

As restantes soluções, como se verifica na figura 73, são as que apresentam valores mais baixos, embora seja possível identificar quais os materiais que têm maior contribuição para os valores neste impacte, sendo eles: o betão (solução 1 e 2), e as madeiras prensadas, o pinho nórdico e a telha cerâmica (solução 4).

Destaca-se, ainda, que a fase de utilização é a maior responsável para este impacte nas soluções 1, 2 e 3 e a fase cradle-to-gate nas soluções 4, 5 e 6.

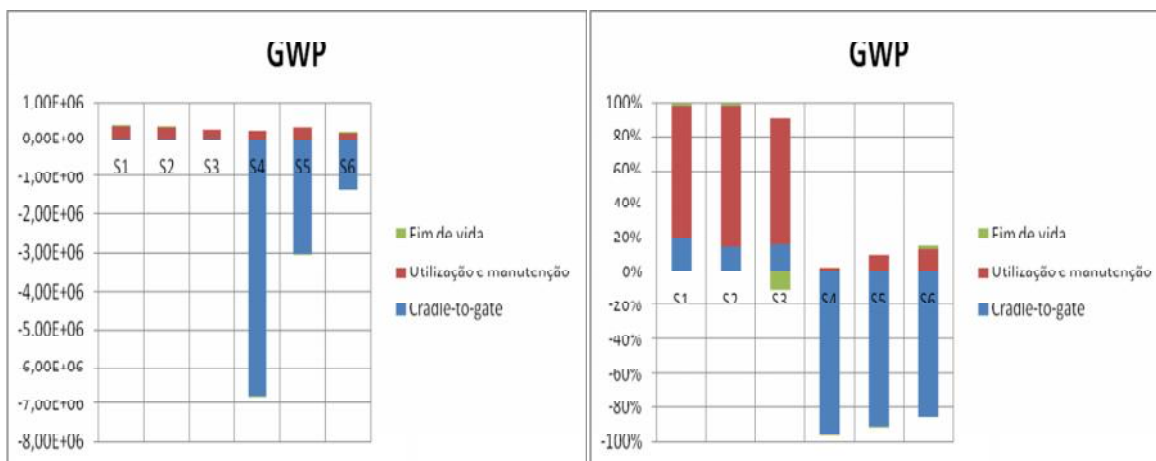


Figura 74 - Impactes ambientais para o potencial de aquecimento global (GWP) das soluções construtivas numa zona climática IIV1

No **potencial de aquecimento global (GWP)**, para a fase cradle-to-gate é necessário enfatizar que são as soluções 4, 5 e 6 que têm os valores mais elevados pois usaram-se materiais tais como: madeira prensada e aço, que no seu processo de produção libertam grandes quantidades de CO^2 . No entanto, é de referir que devido à capacidade das madeiras em armazenar CO^2 ao fim de 100 anos tornam-se benéficas para o meio ambiente.

As soluções 1, 2 e 3 apresentam valores idênticos, embora variem o tipo de materiais responsáveis pelos seus valores. Para as duas primeiras soluções são os materiais cerâmicos, pelo facto de emitirem grandes quantidades de CO^2 , para a terceira o pinho nórdico e o betão têm a maior influência neste impacte.

Na fase de utilização, as soluções 1, 2 e 4 apresentam os maiores impactes ambientais devido às necessidades nominais de aquecimento/arrefecimento serem mais elevadas.

Para a fase de fim de vida, as soluções 4, 5 e 6 são as que apresentam valores mais elevados, O material que mais contribui para a solução 4 é o poliuretano expandido e para as soluções 5 e 6 são: o poliuretano expandido e a imprimação asfáltica.

As restantes soluções apresentam valores idênticos e mais baixos que as soluções 4, 5 e 6. O betão e os materiais cerâmicos são os mais responsáveis nas soluções 1 e 2 e para a solução 3 é o pinho nórdico.

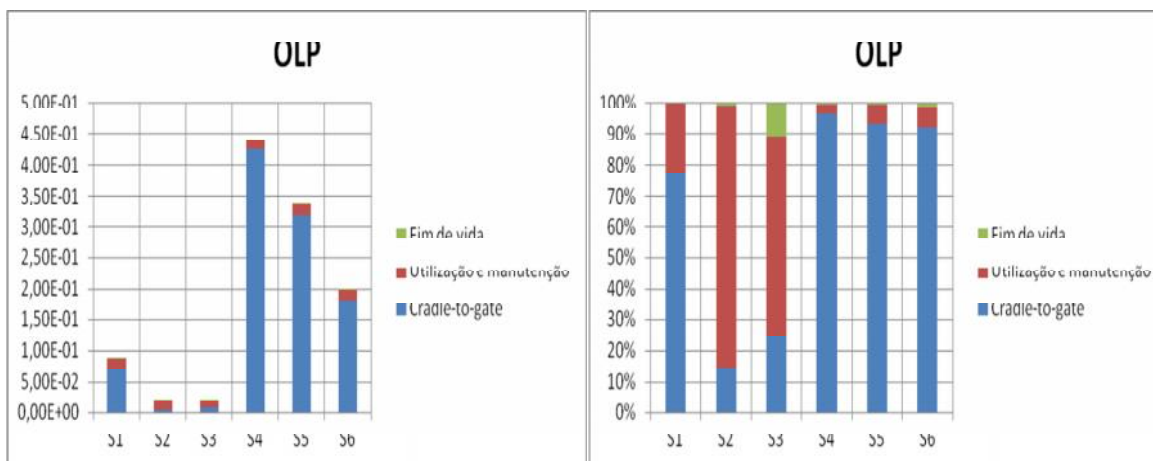


Figura 75 - Impactes ambientais para o potencial de destruição da camada do ozono (OLP) das soluções construtivas numa zona climática II V1

O **potencial de destruição da camada de ozono (OLP)**, apresenta na fase cradle-to-gate que as soluções 1, 4, 5 e 6 são as que têm maiores valores. Para a solução 1, isto deve-se ao uso de XPS e para as restantes deve-se à utilização de madeiras prensadas.

As soluções 2 e 3 apresentam os valores mais baixos, a primeira pelo uso de cerâmicos que contribuem mais para a destruição da camada de ozono e, para a outra, o pinho nórdico.

Na fase de utilização, as soluções 1, 2 e 4 apresentam os maiores impactes ambientais devido às necessidades nominais de aquecimento/arrefecimento serem mais elevadas.

Na fase fim de vida, pelo uso de placas de pinho nórdico na construção das paredes é a solução 3 que apresenta o maior impacto. As soluções 4, 5 e 6 mostram valores para este impacto mais baixos do que a solução anterior, tudo isto, devido ao uso do pinho nórdico, OSB e contraplacado marítimo para a solução 4 e aço e contraplacado marítimo para as soluções 5 e 6.

Basta referir que as soluções 1 e 2 apresentam os valores mais baixos, embora sejam os materiais cerâmicos e o betão com maior destaque.

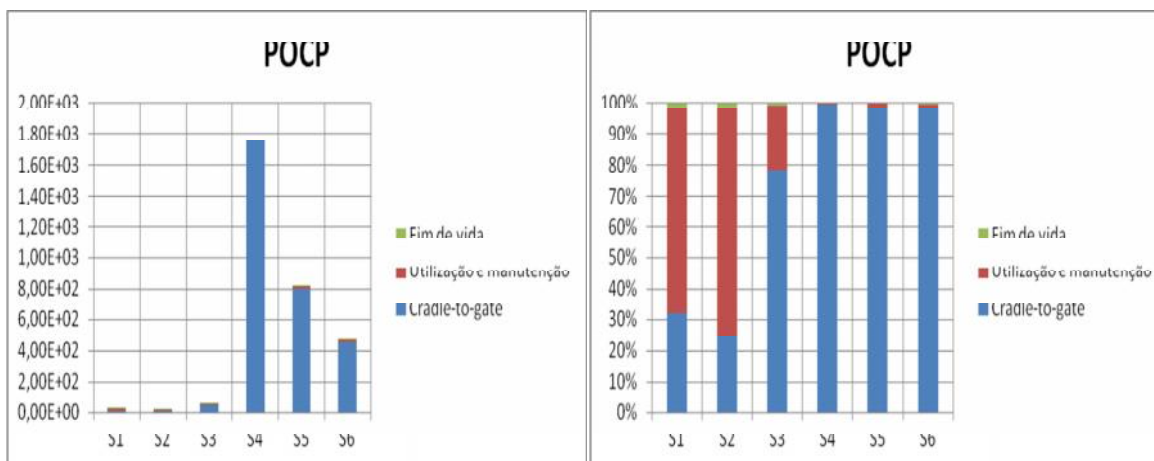


Figura 76 - Impactes ambientais para o potencial de formação do ozono fotoquímico (POCP) das soluções construtivas numa zona climática I1V1

Finalmente, o **potencial de formação de ozono fotoquímico (POCP)**, na fase cradle-to-gate, salienta-se que as soluções 4, 5 e 6 apresentam o maior POCP. Sendo que as soluções 5 e 6 é devido ao uso de contraplacado marítimo, OSB e aço e na solução 4 é devido ao contraplacado marítimo, OSB e pinho nórdico.

O pinho nórdico é o maior responsável pelo impacto do POCP na solução 3 e nas soluções 1 e 2 são os materiais cerâmicos.

Na fase de utilização, as soluções 1, 2 e 4 apresentam os maiores impactes ambientais devido às necessidades nominais de aquecimento/arrefecimento serem mais elevadas.

Por último, resta apenas fazer referência à fase de fim de vida para este impacto. As soluções com valores mais elevados são as soluções 3, 5 e 6. Para a solução 3 deve-se ao uso do pinho nórdico e betão, e o aço para as soluções 5 e 6. As restantes soluções apresentam valores mais baixos mas, existem materiais que deram maior contributo, tais como, os materiais cerâmicos e o betão (solução 1 e 2) e madeiras prensadas, telhas cerâmicas, o pinho nórdico e o betão (solução 4).

As tabelas 15 à 20 apresentam o desempenho ambiental das soluções 1 à 6 para as três fases de ciclo de vida para a implantação da habitação numa zona climática I3V3.

Tabela 15 - Desempenho ambiental da solução 1 na zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	3,28E+02	1,54E+02	1,68E+01	6,42E+04	6,85E-02	5,57E+00
Utilização e manutenção	4,75E+03	5,63E+03	2,53E+02	6,24E+05	4,48E-02	2,56E+01
Fim de vida	9,72E+00	3,36E+01	3,27E+00	5,12E+03	2,41E-04	3,18E-01
Total	5,09E+03	5,82E+03	2,73E+02	6,93E+05	1,14E-01	3,15E+01

Tabela 16 - Desempenho ambiental da solução 2 na zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	2,43E+02	1,15E+02	1,31E+01	4,76E+04	3,81E-03	4,06E+00
Utilização e manutenção	4,90E+03	5,81E+03	2,61E+02	6,44E+05	4,63E-02	2,64E+01
Fim de vida	1,19E+01	3,24E+01	2,80E+00	3,90E+03	2,05E-04	2,68E-01
Total	5,16E+03	5,96E+03	2,77E+02	6,95E+05	5,03E-02	3,08E+01

Tabela 17 - Desempenho ambiental da solução 3 na zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	3,68E+02	2,71E+02	5,53E+01	4,89E+04	6,39E-03	3,68E+01
Utilização e manutenção	3,95E+03	4,68E+03	2,10E+02	5,19E+05	3,73E-02	2,13E+01
Fim de vida	4,96E+01	4,18E+01	4,52E+00	-3,17E+04	2,85E-03	3,92E-01
Total	4,37E+03	5,00E+03	2,70E+02	5,36E+05	4,65E-02	5,85E+01

Tabela 18 - Desempenho ambiental da solução 4 na zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	4,54E+04	2,23E+04	3,79E+03	-6,73E+06	4,22E-01	1,74E+03
Utilização e manutenção	4,05E+03	4,80E+03	2,15E+02	5,32E+05	3,82E-02	2,18E+01
Fim de vida	3,34E+01	3,61E+01	3,46E+00	-2,13E+04	1,96E-03	2,52E-01
Total	4,94E+04	2,71E+04	4,01E+03	-6,22E+06	4,62E-01	1,76E+03

Tabela 19 - Desempenho ambiental da solução 5 na zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	2,35E+04	1,43E+04	2,62E+03	-3,03E+06	3,15E-01	8,03E+02
Utilização e manutenção	5,35E+03	6,35E+03	2,85E+02	7,03E+05	5,05E-02	2,89E+01
Fim de vida	3,02E+01	3,54E+01	6,01E+00	-3,69E+03	1,06E-03	5,35E-01
Total	2,89E+04	2,07E+04	2,91E+03	-2,33E+06	3,67E-01	8,32E+02

Tabela 20 - Desempenho ambiental da solução 6 na zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental					
	ADP	AP	EP	GWP	ODP	POCP
Cradle-to-gate	1,33E+04	8,05E+03	1,48E+03	-1,31E+06	1,84E-01	4,48E+02
Utilização e manutenção	3,58E+03	4,24E+03	1,90E+02	4,70E+05	3,38E-02	1,93E+01
Fim de vida	1,73E+02	1,51E+02	1,61E+01	2,88E+04	2,04E-03	1,53E+00
Total	1,71E+04	1,24E+04	1,68E+03	-8,12E+05	2,20E-01	4,69E+02

Comparando as tabelas 9 à 14 com as tabelas 15 à 20, conclui-se que apenas há aumentos na fase de utilização e manutenção, devido às necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento na zona climática I3V3 superiores aos dobro das necessidades nominais na zona climática I1V1.

4.4.4. Resultados e discussão da metodologia de cálculo do método das Necessidades de energia acumulada (NEA)

A necessidade de energia acumulada (NEA) é calculada para as três fases de ciclo de vida descritas na metodologia. Os resultados das NEA para a implantação da habitação em I1V1 estão apresentados nas tabelas 21 à 26, fazendo-se a distinção entre energias renováveis (ER) e não renováveis (ENR).

Tabela 21 - Desempenho energético da solução 1 para a zona climática I1V1

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	7,29E+05	9,68E+04
Utilização e manutenção	3,86E+06	7,63E+05
Fim de vida	3,50E+04	1,56E+03
Total	4,62E+06	8,61E+05

Tabela 22 - Desempenho energético da solução 2 para a zona climática I1V1

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	5,44E+05	4,19E+04
Utilização e manutenção	3,94E+06	7,79E+05
Fim de vida	2,98E+04	1,29E+03
Total	4,52E+06	8,23E+05

Tabela 23 - Desempenho energético da solução 3 para a zona climática I1V1

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	9,42E+05	1,90E+05
Utilização e manutenção	3,21E+06	6,34E+05
Fim de vida	1,33E+05	7,67E+03
Total	4,28E+06	8,32E+05

Tabela 24 - Desempenho energético da solução 4 para a zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	1,07E+08	1,92E+08
Utilização e manutenção	3,29E+06	6,50E+05
Fim de vida	9,00E+04	5,20E+03
Total	1,10E+08	1,93E+08

Tabela 25 - Desempenho energético da solução 5 para a zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	5,49E+07	1,10E+08
Utilização e manutenção	4,47E+06	8,84E+05
Fim de vida	7,47E+04	2,32E+03
Total	5,94E+07	1,11E+08

Tabela 26 - Desempenho energético da solução 6 para a zona climática IIV1

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	3,07E+07	5,48E+07
Utilização e manutenção	2,71E+06	5,37E+05
Fim de vida	7,20E+04	8,56E+02
Total	3,35E+07	5,54E+07

As figuras 77 e 78 mostram os impactos energéticos das tabelas 21 à 25.

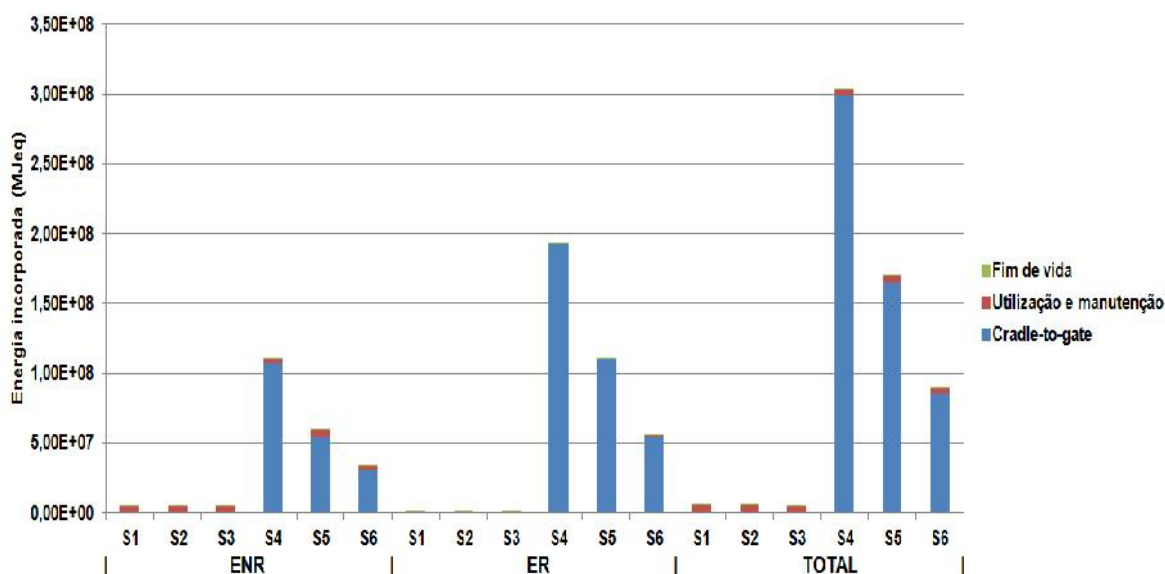


Figura 77 – Energia consumida para as diferentes soluções construtivas na região IIV1 em MJ eq.

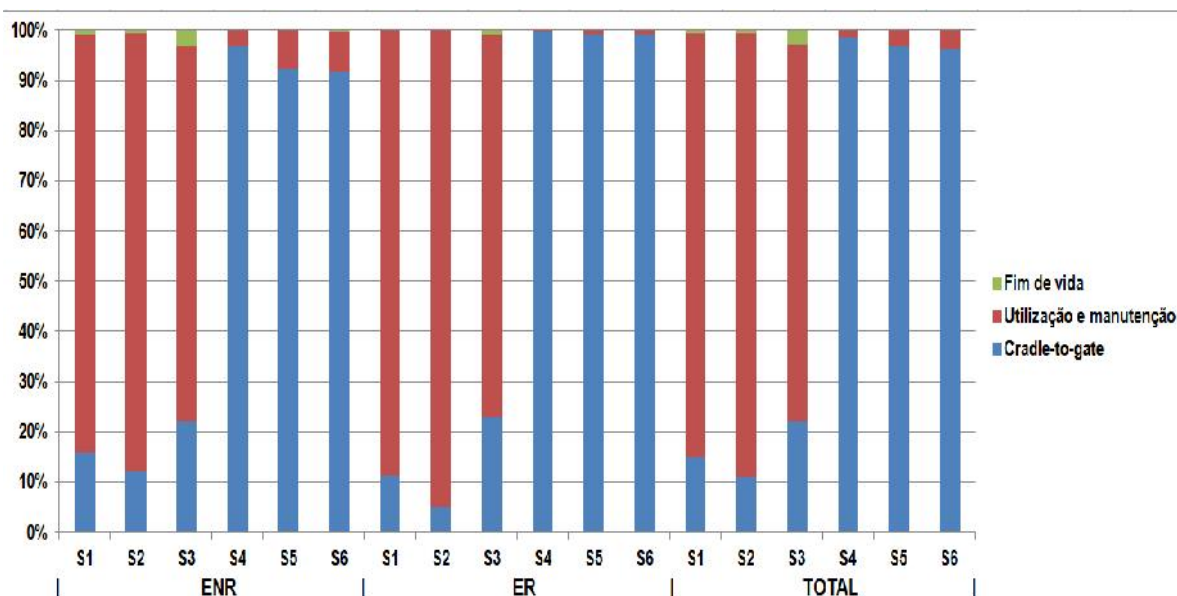


Figura 78 – Energia consumida para as diferentes soluções construtivas na região IIV1.

Através da análise das figuras 77 e 78 podem-se tirar as seguintes elações.

Tanto para as energias não renováveis como para as energias renováveis, na fase cradle-to-gate, na solução 1 os materiais com maior energia incorporada são: materiais cerâmicos (tijolo vazado, telha cerâmica e abobadilha cerâmica), o betão e o poliestireno extrudido (XPS) apenas para a solução 2, os materiais com mais impacto em termos deste indicador são os materiais cerâmicos, betão e poliestireno expandido (EPS). Para a solução 3 o material com maior impacto ambiental é o pinho nórdico. Para a solução 4 os materiais são as madeiras prensadas e para as soluções 5 e 6 são o aço leve e o contraplacado marítimo. Para a solução 1 e 2 são os materiais cerâmicos e o betão, para a solução 3 é o pinho nórdico, para a solução 4 são o contraplacado marítimo, o OSB e os materiais cerâmicos. Para a solução 5 os materiais que têm maior impacto ambiental são: a chapa, palha e aço leve e finalmente para a solução 6 são: o aço, o gesso cartonado, o contraplacado marítimo e o betão.

As tabelas 27 à 32 apresentam o desempenho energético das seis soluções construtivas para as três fases de ciclo de vida para a implantação da habitação numa zona climática I3V3.

Tabela 27 - Desempenho energético da solução 1 para a zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	7,29E+05	9,68E+04
Utilização e manutenção	8,44E+06	1,67E+06
Fim de vida	3,50E+04	1,56E+03
Total	9,20E+06	1,77E+06

Tabela 28 - Desempenho energético da solução 2 para a zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	5,44E+05	4,19E+04
Utilização e manutenção	8,71E+06	1,72E+06
Fim de vida	2,98E+04	1,29E+03
Total	9,28E+06	1,77E+06

Tabela 29 - Desempenho energético da solução 3 para a zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	9,42E+05	1,90E+05
Utilização e manutenção	7,02E+06	1,39E+06
Fim de vida	1,33E+05	7,67E+03
Total	8,09E+06	1,59E+06

Tabela 30 - Desempenho energético da solução 4 para a zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	1,07E+08	1,92E+08
Utilização e manutenção	7,20E+06	1,42E+06
Fim de vida	9,00E+04	5,20E+03
Total	1,14E+08	1,94E+08

Tabela 31 - Desempenho energético da solução 5 para a zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	5,49E+07	1,10E+08
Utilização e manutenção	9,51E+06	1,88E+06
Fim de vida	7,47E+04	2,32E+03
Total	6,45E+07	1,12E+08

Tabela 32 - Desempenho energético da solução 6 para a zona climática I3V3

Fase de ciclo de vida	Energia incorporada	
	ENR	ER
Cradle-to-gate	3,07E+07	5,48E+07
Utilização e manutenção	6,36E+06	1,26E+06
Fim de vida	7,20E+04	8,56E+02
Total	3,72E+07	5,61E+07

A figura 79 mostra a comparação dos impactes energéticos indicados nas tabelas 27 à 32 para a zona climática I3V3 com os indicados nas tabelas 21 à 26 para a zona climática I1V1.

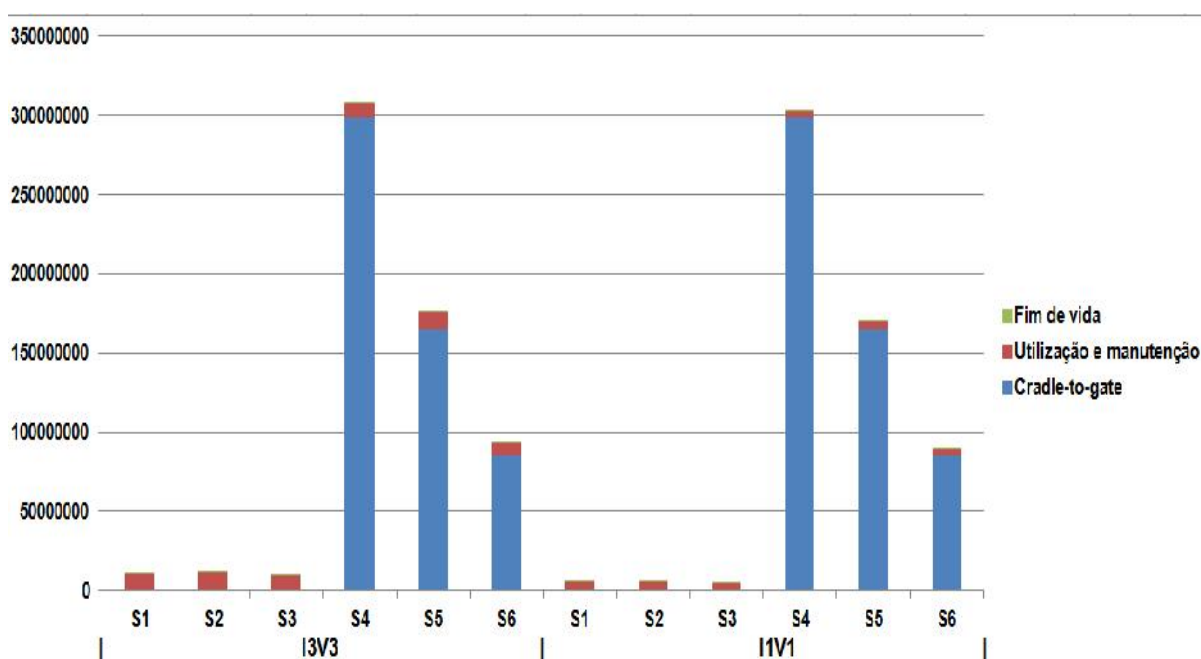


Figura 79 – Comparação de resultados da energia consumida para as diferentes soluções construtivas na região I3V3 e I1V1.

Realizando uma análise dos resultados de figura 79, percebe-se que apenas houve uma alteração na fase de utilização, tal como na metodologia do CML 2001. O aumento do impacto para a zona climática I3V3 na fase de utilização, deve-se às necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento serem mais elevadas, superiores ao dobro das necessidades de I1V1. Os valores para as fases cradle-to-gate e fim de vida não sofreram alteração.

5. CONCLUSÕES

A indústria da construção tem impacto no meio ambiente, devido à extração de grandes quantidades de recursos naturais para a produção de materiais, em que cada vez mais se vão esgotando por não serem infinitamente inesgotáveis. Para tentar suavizar este problema foi necessário criar um conceito inovador para “ajudar” o planeta, sendo este, Construção Sustentável.

Para reduzir a extração de matéria-prima, uma das soluções passaria pela redução de materiais a aplicar na obra, então como solução apresenta-se a construção modular.

No mercado da construção existe uma vasta gama de materiais, podendo estes serem separados em dois grupos, materiais naturais e materiais transformados. Como materiais naturais apresentou-se a cortiça, a madeira e as tintas e vernizes naturais e como materiais transformados apresentou-se o betão, o aço, o vidro, o plástico, e cerâmicas. Estes materiais necessitam de processos de transformação que têm impactos elevados, sendo necessário reciclar garantindo uma redução de extração de matérias-primas.

Para que o conceito de construção sustentável seja aplicado, é necessário conhecer e aplicar uma correta seleção dos materiais. Isto é, deve-se optar por materiais duráveis, resistentes, recicláveis, provenientes de resíduos de construção para reduzir a extração de matérias primas, entre outros.

Para que os intervenientes na construção tenham conhecimento quanto aos impactos que um produto causa em todo o seu ciclo de vida, é necessário realizar estudos e construir documentos com este tipo de informação.

Os rótulos ecológicos são uma das soluções para os intervenientes terem conhecimento do impacto do produto, uma outra solução, são as declarações ambientais de produto (DAP's). As DAP's têm informação dos impactos causados pelo produto em todo o seu ciclo de vida, mas, para as construir é necessário realizar uma avaliação do ciclo de vida do produto para obter as informações necessárias dos impactos.

Como já foi referido anteriormente, a construção modular seria uma solução para tornar a indústria da construção mais sustentável.

A construção modular é utilizada desde a antiguidade e que mais tarde com a revolução industrial, aplicou-se novos materiais e nos processos de produção. Já no século XX, os

projetistas começaram a relacionar as necessidades da habitação a cada utilizador, assim sendo, utilizaram as dimensões do corpo humano para determinar as dimensões dos diferentes espaços da habitação.

A utilização da construção modular permite uma redução no tempo de construção, uma redução nos custos e desperdícios e redução nos erros efetuados em construção, contribuindo para um desenvolvimento de sistemas de construção mais sustentáveis.

Relativamente ao estudo de caso, foram escolhidas seis soluções construtivas, tendo em conta as construções mais frequentes em Portugal e foram comparáveis entre si devido ao uso de diferentes materiais. Conclui-se que a solução construtiva 3, em pinho nórdico é a solução mais adequada do ponto de vista ambiental e energético. Deve-se ao facto de valores mais baixos em três categorias de impacto ambiental e os mais baixos impactos energéticos. É de ressaltar que não foi contabilizado o transporte do pinho nórdico do local da extração até à fábrica. Se o pinho nórdico for importado, o impacto do transporte é muito elevado, podendo deixar de ser a solução mais adequada.

A solução construtiva de paredes dupla de tijolo vazado e cobertura inclinada (solução 1), é uma boa alternativa, por apresentar os valores mais baixos a seguir à solução em pinho nórdico.

É de grande importância referir, que para o cálculo da fase de extração/produção ("cradle-to-gate") não foi contabilizado o transporte da fábrica até ao local da obra e que a percentagem utilizada de materiais reciclados na fase de fim de vida também não foi contabilizada. Com a contabilização do transporte os valores dos impactos iriam aumentar, e com a aplicação dos materiais reciclados, haveria uma redução na quantidade de matérias-primas extraída, devendo o valor do impacto da extração ser reduzido devido à diminuição da extração de matérias-primas.

Com este estudo, pode-se também concluir que as madeiras prensadas não são bons materiais a aplicar na construção, devido aos elevados impactos ambientais causados e à elevada energia incorporada no processo de produção. Quando as madeiras prensadas são recicladas, reduz-se o valor de impacto relativo à extração da madeira, mas continua a apresentar um impacto elevado no processo de fabrico.

A escolha de materiais com uma boa eficiência energética é uma escolha sustentável, porque como se pode ver a fase de utilização é maior responsável pelos impactos, assim

sendo, é necessário reduzir as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento das habitações.

As necessidades nominais na região de zona climática I1V1 são menos de metade das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento na região de zona climática I3V3.

O estudo foi feito para as regiões de zona climática I1V1 e de zona climática I3V3, podendo assim abranger todo o território nacional.

Os cálculos foram realizados com o programa SimaPro utilizando uma base de dados Suíça (ecoinvent), pelo motivo de não existir nenhuma base de dados portuguesa para o SimaPro. Os valores obtidos variam da realidade portuguesa, mas servem como fundamento para um estudo de desempenho ambiental e energético de soluções construtivas.

Em suma, as práticas de projeto e construção orientadas pela sustentabilidade passam pela escolha de materiais sustentáveis e naturais, pela redução das quantidades de materiais utilizados, reduzindo os impactes da extração e por soluções construtivas com bom desempenho energético.

Para trabalhos futuros seria importante realizar um estudo mais exaustivo relativamente aos materiais existentes, quanto às suas características ambientais e às possíveis soluções construtivas para determinar qual a habitação modular mais adequada para o utilizador e para o ambiente, tentando cumprir sempre as três condicionantes da construção modular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5OSA - Spacebox Eindhoven 2005 TUE [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://5osa.tistory.com/entry/Spacebox-Spacebox-Eindhoven-2005-TUE>>].

AELENEI, DANIEL - RCCTE "Light". Lisboa: Universidade de Lisboa, 2008.

ÁGUAS, MIGUEL; PARENTE, JOÃO- Energia e Ambiente. 2008. Disponível em WWW:<URL:https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/316205/1/GE_T_12_Energia_Ambiente.pdf>].

ALMEIDA, M. I. A. [et al.] - Declaração ambiental de produto aplicado ao tijolo. In: SUSTENTÁVEL, P. P. A. C. - Inovação na Construção Sustentável. Curia: 2010. p. 125-133.

ALTHAUS, HANS-JORG [et al.] - Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Dezembro 2007. 2007. Disponível em WWW:<URL:http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03_LCIA-Implementation.pdf>].

ANTÓNIO, JULIETA [et al.] - WALLINBLOCK - Desenvolvimento de soluções para uma construção sustentável. In: CINCOS'10 - Inovação na Construção Sustentável. 2010. p. 403 - 411.

AUSTRALIA, GOOD ENVIRONMENTAL CHOICE - Goode Environmental Choice Australia [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.geca.org.au/index.html>>].

BERCI - Casa DIFF - Sistema Construtivo [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.markado.pt/sist_const.php>].

BERGE, BJORN - The Ecology of Building Materials. First Edition. 2000.

BIOFA - BIOFA - Pinte Com a Natureza [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.biofa.pt/Default.aspx>>].

BRAGANÇA, LUIS; MATEUS, RICARDO - AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS - IMPACTE AMBIENTAL DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS. 2011.

BREGATTO, PAULO RICARDO - Coordenação Modular - Parte 1 [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://bregatto.blogspot.com/2008/09/coordenao-modular-parte-i.html>>].

BREGATTO, PAULO RICARDO - Coordenação Modular - Parte 2. (2008b).

CACHIM, PAULO BARRETO - Construções em madeira - A madeira como material de construção. Publindústria, 2007.

CAPETILLO, A.; OLIVEIRA, C.; PINTO, A. REAES - A "Declaração ambiental de produto" como factor de sustentabilidade na construção. In: SUSTENTÁVEL, P. P. A. C. - Inovação na Construção Sustentável. Curia: 2010. p. 613-623.

CASTELO, JOÃO LUÍS DE COUTO - Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. 278 f.

CENTURYSTEEEL - Construção industrializada [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.centurysteel.pt/introducao.html>>].

CONSTRULINK- Ficha técnica - Isolamento térmico de fachadas pelo exterior. 2007. [Consult. Outubro de 2011]. Disponível em WWW:<URL:http://www.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/gt_3_95_construlink_17_12_02_2007.pdf>].

CUCHÍ, ALBERT [et al.] - ECOMATERIAIS [em linha]. CONCRETA. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ecomateriales.com/iindex.htm>>].

DECRETO-LEI26/2010-. PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 2010. Disponível em WWW:<URL:<http://dre.pt/pdfs/2010/03/06200/0098501025.pdf>>].

DECRETO-LEI46/2008-. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2008.

Congresso Lidera, 2011, Como as declarações ambientais refletem o desempenho ambiental do produto - Sistema de registi DAP Habitat. City 2011.

EIRES, RUTE MARIA GONÇALVES - Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo industrial, pasta de papel e cortiça. 2006. 144 f.

ELONDRES.COM - Hotel construido dentro de estação de trem em Londres é reaberto [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www2.elondres.com/hotel-construido-dentro-de-estacao-de-trem-em-londres-e-reaberto/>>].

ENGEL, DER BLAUER - The Blue Angel - Eco-Label with Brand Character [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.blauer-engel.de/en/blauer_engel/index.php>].

ENVIRONMENT, EUROPEAN COMMISSION - EcoLabel [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/>>].

EUROPA - Europa - Sínteses da legislação da UE [em linha]. [Consult. 02 de Dezembro de 2009]. Disponível em

WWW:<URL:http://europa.eu/legislation_summaries/consumers/product_labelling_and_packaging/l28020_pt.htm>.

FERREIRA, JOSÉ VICENTE RODRIGUES - ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FERREIRA, ODAIR PASTOR [et al.]- ECOMATERIAIS: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE MATERIAIS POROSOS FUNCIONAIS PARA PROTECÇÃO AMBIENTAL. 2007. Laboratório de Química do Estado Sólido, 2006. [Consult. Novembro 2010]. Disponível em WWW:<URL:http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_revisao_odair_2006.pdf>.

FILHO, ISAC CHEDID SAUD - A coordenação modular como uma ferramenta no processo projectual. Universidade Luterana do Brasil, 2007.

GAINSGROVE - Spacebox [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.spacebox.nl/index.cfm?lng=en&mi=1&pmi=0>>.

V Congresso de Construção Metálica e Mista, Lisboa, 2005, A Sustentabilidade do aço. City 2005. 719 - 730 p.

GIL, LUIS- A cortiça como material de construção - manual técnico. s.d. Disponível em WWW:<URL:<http://www.apcor.pt/userfiles/File/Caderno%20Tecnico%20F%20PT.pdf>>.

GORNI, ANTÓNIO AUGUSTO - Introdução aos plásticos [em linha]. [Consult. 10 Setembro 2003]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>>.

GRANIMINHO - Granihouse [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.graniminho.com/http://casas-modulares.com/casas-modulares/granihouse-casa-modular-transportavel/>>.

GREVEN, HÉLIO ADÃO; BALDAUF, ALEXANDRA STAUDT FOLLMANN - Introdução à coordenação modular da construção no brasil: Uma abordagem actualizada. Porto Alegre, 2007. 72 f.

HOMES, WHOLESALE LOG - Log Homes [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.wholesaleloghomes.com/images.html>>.

INAX - INAX - ECOCARAT [em linha]. INAX Corporation. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.inax-ecocarat.com/en/index.html>>.

INDEX, ECOLABEL - AENOR Medio Ambiente [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ecolabelindex.com/ecolabel/aenor-medio-ambiente>>.

INDEX, ECOLABEL - Green Mark [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ecolabelindex.com/ecolabel/green-mark>>.

INDEX, ECOLABEL - Singapore Green Label Scheme (SGLS) [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ecolabelindex.com/ecolabel/singapore-green-label-scheme-sgls>>].

ISO14025:2009- Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures. 2009.

ISOCOR - Isocor - Aglomerados de Cortiça, A. C.E. [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.isocor.pt/por/pt_index.htm>].

ITECONS - Projecto "WALLINBLOCK" [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.itecons.uc.pt/noticia.php?id=29>>].

JULAR - JULAR Madeiras [em linha]. LinkCom. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.jular.pt>>].

KIBERT, CHARLES J. - SUSTAINABLE CONSTRUCTION - Green Building Design and Delivery. 2ª Edição. Wiley, 2008.

LAWSON, MARK - Buildin Design Using Modules. New Steel Construction. (2007).

LEAL, NUNO ALFREDO DOS SANTOS CARDOSO - Construção Sustentável. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2006.

LISBOA, UNIVERSIDADE DE - Le Corbusier. (2000).

LNEG - SolTerm 5.1 [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://solterm.lneg.pt/>>].

LU, ED. D NA; BAUSMAN, PH. D DENNIS C. - Comparative Study on Offsite Construction Techniques in the U.S. Building Construction.

MASCARENHAS, J.; REIS, M. L.; BRANCO, F. - O aglomerado negro de cortiça - Um material ecológico que até produz energia ao ser fabricado. In: Inovação na construção sustentável. Curia: DallDesign, lda, 2008.

MATEUS, RICARDO - Avaliação da Sustentabilidade da Construção - Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. Guimarães: Universidade do Minho, 2009. 374 f.

MONTEIRO, HELENA; FREIRE, FAUSTO - Environmental Life-Cycle Impacts of a Single-family House im Portugal: Assessing Alternative Exterior Walls with two Methods. Gazi University Journal os Science. (2011), p. 527-534.

NATURECLEAN - EcoLogo Certification - 3º Party Certified [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.naturecleanliving.com/ecologo_certification>].

OFICIAL, JORNAL- Regulamento (CEE) nº 880/92 do Conselho, de 23 de Março 1992, relativo a um sistema comunitário de atribuição de rótulo ecológico Jornal Oficial, 1992. Disponível em WWW:<URL:<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992R0880:PT:HTML>>.

PEGORARO, LEANDRO ANDRADE - Desenvolvimento de factores de caracterização para toxicidade humana em avaliação do impacto do ciclo de vida no Brasil. Curitiba: Univesidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008.

POLICY, INTEGRATED PRODUCT - Declarações ambientais do produto [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.startipp.gr/PT_NET/EPD.pdf>.

POSSEBON, ENNIO - O modulator de Le Corbusier: Forma, Proporção e Medida na Arquitectura. [em linha]. (2004). [Consult. Agosto 2011]. Disponível na

RADZIBER, MARMOL - Desert house [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.marmol-radziner.com/constr_02.html>.

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. 2006.

8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, São Paulo, Brasil, 2008, Eco-design: escolha de materiais visando sustentabilidade e processos de fabricação. City 2008. 1208 - 1216 p.

SILVA, ANA CLÁUDIA FURTADO CORREIA DA - Aplicação de ferramentas de análise do ciclo de vida na sustentabilidade da construção - Estudo de caso. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2008.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. DE; PINHEIRO, M. D. - Certificação ambiental de materiais e soluções construtivas - aplicação à realidade portuguesa. Inovação na Construção Sustentável. (2010), p. 97-111.

SIT - Sit Urban Design. (2011).

SÓ, DO PORTO E NÃO - Um percurso pelo Weissenhof Siedlung, Stuttgart 1927 (Parte 1) [em linha]. [Consult. 20 de Fevereiro de 2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://doportoenaoso.blogspot.com/2011/02/um-percurso-pelo-weissenhof-siedlung.html>>.

SPACE, URBAN - Container City. (2007).

TAVARES, VANESSA MARIA MARTINS - Construção Pré-fabricada - A industrialização de um processo. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2009.

TÉKETO - Construção em aço [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.teketo.pt/MenuHorizontal/Constru%C3%A7%C3%A3oem%C3%A7o/SistemaMODIKO/tabid/433/language/pt-PT/Default.aspx>>.

TENDÊNCIAS, PORTAL DE - Brasil gana selo ecológico para produtos [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://www.portaldetendencias.com/novembro_selo.html>].

TIRES, KUMHO - Gestão ambiental [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://kumhopneus.com.br/Empresa/gestao_politica/gestao_ambiental/atividade_gestao/gestao.html>].

TORGAL, F. PACHECO; JALALI, SAID - A Sustentabilidade dos Materiais de Construção. 1ª Edição. TecMinho, 2010.

Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional, Coimbra, 2007, CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. O CASO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. City: Universidade do Minho, 2007.

USEPA - Life Cycle Assessment: Principles and practice. [em linha]. (2006). [Consult. Disponível na internet:<URL:<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf>>].

WICANDERS - The Amazing Floors of Wicanders [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.wicanders.com/client/skins/geral.asp>>].

WICANDERS - Corkcomfort [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.wicanders.com/client/skins/geral.asp?id=5741&c=34>>].

WIKIPEDIA - Unité d'Habitation [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Unit%C3%A9_d%27Habitation>].

ZEALAND, ENVIRONMENTAL CHOICE NEW - Environmental Choice New Zealand [em linha]. [Consult. Disponível em WWW:<URL:<http://www.enviro-choice.org.nz/>>].

Anexo 1

Cálculo da necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento das soluções construtivas para a região de zona climática I1V1 utilizando o RCCTE.

Folha de cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à envolvente exterior

Paredes exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
		TOTAL	

Pavimentos exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
		TOTAL	

Coberturas exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
		TOTAL	

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perímetro B (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
		TOTAL	

Pontes Térmicas lineares	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
<i>Fachada com os Pavimentos térreos</i>			
<i>Fachada com Pavimentos</i>			
<i>Fachada com Pavimentos intermédios</i>			
<i>Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço</i>			
<i>Fachada com Varanda</i>			
<i>Duas Paredes verticais</i>			
<i>Fachada com Caixa de estore</i>			
<i>Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril</i>			
<i>Outras</i>			
		TOTAL	

Folha de cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
TOTAL				

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
TOTAL				

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não-úteis)	Area (m ²)	U (W/m ² C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
TOTAL				

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m ²)	U (W/m ² C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
TOTAL				

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $\tau > 0,7$)	Comprimento (B) (m)	Ψ (W/m°C)	τ (-)	$\Psi B \tau$ (W/°C)
TOTAL				

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/°C)	TOTAL	
--	--------	--------------	--

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
<i>Verticais:</i>			
<i>Horizontais:</i>			
		TOTAL	

Folha de cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à renovação de ar

Área Útil de pavimento (A_p)	<input type="text"/>	(m^2)
Pé-direito médio	<input type="text"/>	(m)
Volume Interior (V)	<input type="text"/>	(m^3)

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumprir NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM: RPH = 0,6
Se NÃO:			
Classe da calxilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text"/>	
Caixas de estore	(S ou N)	<input type="text"/>	
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text"/>	
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text"/>	
Área de Envidraçados > 15% A_p ?	(S ou N)	<input type="text"/>	
Portas exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text"/>	

Taxa de Renovação nominal: RPH =

Ver Quadro IV.1

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor de cozinha)

Caudal de Insuflação	$V_{in} - (m^3/h)$	<input type="text"/>	
Caudal extraído	$V_{ex} - (m^3/h)$	<input type="text"/>	
Diferença entre V_{in} e V_{ex}	(m^3/h)	<input type="text"/>	
Infiltrações	(V_d)	<input type="text"/>	
Recuperador de Calor	(S ou N)	<input type="text"/>	
Taxa de Renovação nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text"/>	
Consumo de electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	

$V_i =$

$V =$

(volume Int) (RPH)

se SIM: $\eta =$

se NÃO: $\eta = 0$

($V_i / V + V_x$) (1 - η)

($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 M$ (kWh))

Volume	<input type="text"/>	
Taxa de Renovação nominal	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	
	<input type="text"/>	
TOTAL	<input type="text"/>	(W/C)

Folha de cálculo FC IV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh,Fo,Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sol. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (Gsu)

na Zona (I) (kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

x

Duração da Estação de Aquecimento (meses)

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.2)		(W/m²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento		(meses)
	x	
Área Útil de pavimento		(m²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos		(kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\eta =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos	
	Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	
Inércia do edifício:		$\eta =$
Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)		
	x	
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos		
	=	
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		

Folha de cálculo FC IV.1f

Valor máximo das necessidades de aquecimento (N_i)

FACTOR DE FORMA	
Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)	m ²
Paredes Exteriores	<input type="text"/>
Coberturas Exteriores	<input type="text"/>
Pavimentos Exteriores	<input type="text"/>
Envidraçados Exteriores	<input type="text"/>
Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. τ)	
Paredes Interiores	<input type="text"/>
Coberturas Interiores	<input type="text"/>
Pavimentos Interiores	<input type="text"/>
Envidraçados Interiores	<input type="text"/>
Área Total:	<input type="text"/>
	/
Volume (da FC IV.1d):	<input type="text"/>
	=
FF	<input type="text"/>

Graus-Dia no Local (°C.dia)

$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$	para $FF < 0,5$
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}$	para $0,5 < FF < 1$
$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}] (1,2 - 0,2 \text{ FF})$	para $1 < FF < 1,5$
$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$	para $FF > 1,5$

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - N_i (kWh/m².ano)

Folha de cálculo FC IV.2

Cálculo do indicador *Nic*

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	
	/
Área Útil de pavimento (m²)	
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	

Folha de cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<input type="text"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<input type="text"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	<input type="text"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)	<input type="text"/>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	<input type="text"/>	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q_{ta})	<input type="text"/>	(W/°C)

Temperatura interior de referência		<input type="text" value="25"/>	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		<input type="text"/>	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		<input type="text"/>	(°C)
		x	
Perdas específicas totais	(Q_{ta})	<input type="text"/>	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q_{tb})	<input type="text"/>	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1b

Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
		TOTAL	

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Horizontais:			
		TOTAL	

Folha de cálculo FC V.1c

Ganhos solares pela envolvente opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								
Área, A (m ²)								
U (W/m ² °C)	X	X	X	X	X	X	X	X
Coeficiente de absorção, α (Quadro V.5)								
α U.A	X	X	X	X	X	X	X	X
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)								
	X	X	X	X	X	X	X	X
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	TOTAL
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior								(kWh)

Folha de cálculo FC V.1d

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL								

Área, A (m ²)								
Factor solar do vão envidraçado ⁽¹⁾								
Fração envidraçada, F _e (Quadro IV.5)								
Factor de obstrução, F _o ⁽²⁾								
Factor de selectividade do vidro, F _w (Quadro V.3)								
Área efectiva, A _v								(m ²)
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)								
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores								TOTAL (kWh)

⁽¹⁾ Para dispositivos de sombreamento móveis, considera-se a soma de 30% do factor solar do vidro (Tabela I/ 4) e 70% do factor solar do envidraçado com a protecção solar móvel actuada (Quadro V.4)

⁽²⁾ Para a estação de arrefecimento o factor de obstrução, F_o, é obtido pelo produto F_{o1}F_{o2} dos Quadros V.1 e V.2

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos internos

Ganhos internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	
	X
Área útil de pavimento (m ²)	
	X
	2,928
	=
Ganhos Internos totais	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	<input type="text"/>	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	<input type="text"/>	(kWh)
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	<input type="text"/>	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		<input type="text"/>	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	<input type="text"/>	(kWh)
	/	
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	<input type="text"/>	(kWh)
	=	
γ	<input type="text"/>	
Inércia do edifício	<input type="text"/>	

	<input type="text"/>	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	<input type="text"/>	
	=	
	<input type="text"/>	
	x	
Ganhos térmicos totais (FCV.1e)	<input type="text"/>	(kWh)
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	<input type="text"/>	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<input type="text"/>	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot 122$ (kWh))
	=	
TOTAL	<input type="text"/>	(kWh/ano)
	/	
Área útil de pavimento (m^2)	<input type="text"/>	
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	<input type="text"/>	(kWh/ m^2 .ano)
	\leq	
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	<input type="text"/>	(kWh/ m^2 .ano)

As folhas de cálculo apresentadas anteriormente foram as utilizadas para calcular as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento, de seguida serão apresentadas para as várias soluções construtivas o resumo dos resultados obtidos.

Solução 1

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m ²)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m ²)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	130,56
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	88,51
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4390,59
Nic (kWh/m ² .ano)	61,24
Ni (kWh/m ² .ano)	75,70
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	3955,84
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	274,66
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	728,22
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m ² .ano)	2,92
Nv (kWh/m ² .ano)	16,00
Nac (kWh/m ² .ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m ² .ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m ² .ano)	2,00
Nt (kgep/m ² .ano)	5,25
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,38)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	1590025,608
Nvc (MJ eq) em 50 anos	75918,96

Solução 2

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	231,56
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	0,00
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4403,22
Nic (kWh/m2.ano)	64,04
Ni (kWh/m2.ano)	75,70
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	6395,78
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	507,15
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	728,22
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	1,53
Nv (kWh/m2.ano)	16,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	1,97
Nt (kgep/m2.ano)	5,25
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,38)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	1662715,092
Nvc (MJ eq) em 50 anos	39741,75343

Solução 3

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	126,82
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	26,13
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	3981,18
Nic (kWh/m2.ano)	48,78
Ni (kWh/m2.ano)	75,70
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	3971,14
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	279,66
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	728,22
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	4,52
Nv (kWh/m2.ano)	16,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	1,93
Nt (kgep/m2.ano)	5,25
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,37)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	1266675,101
Nvc (MJ eq) em 50 anos	117368,3934

Solução 4

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	134,67
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	25,04
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	3997,55
Nic (kWh/m2.ano)	50,23
Ni (kWh/m2.ano)	75,70
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	4405,88
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	421,73
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	728,22
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	4,48
Nv (kWh/m2.ano)	16,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	1,94
Nt (kgep/m2.ano)	5,25
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,37)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	1304351,553
Nvc (MJ eq) em 50 anos	116427,8754

Solução 5

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	251,91
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	0,00
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4166,99
Nic (kWh/m2.ano)	70,38
Ni (kWh/m2.ano)	75,70
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	6372,84
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	864,88
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	728,22
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	3,96
Nv (kWh/m2.ano)	16,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	2,12
Nt (kgep/m2.ano)	5,25
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,4)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	1827443,235
Nvc (MJ eq) em 50 anos	102852,6978

Solução 6

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	135,34
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	0,00
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4265,75
Nic (kWh/m2.ano)	42,74
Ni (kWh/m2.ano)	75,70
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	4464,30
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	289,10
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	728,22
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	2,41
Nv (kWh/m2.ano)	16,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	1,79
Nt (kgep/m2.ano)	5,25
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,34)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	1109666,22
Nvc (MJ eq) em 50 anos	62553,34846

Cálculo da necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento da soluções construtivas para a região de zona climática I3V3 utilizando o RCCTE.

As tabelas utilizadas para o cálculo das necessidades na zona climática I1V1 foram as mesmas para o cálculo das necessidades na zona climática I3V3. Apresentam-se de seguida o resumo dos resultados para as diversas soluções construtivas para a zona climática I3V3.

Solução 1

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m ²)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m ²)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	130,56
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	88,51
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5148,95
Nic (kWh/m ² .ano)	133,80
Ni (kWh/m ² .ano)	136,14
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	1977,92
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	290,42
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	774,14
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m ² .ano)	6,55
Nv (kWh/m ² .ano)	26,00
Nac (kWh/m ² .ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m ² .ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m ² .ano)	2,84
Nt (kgep/m ² .ano)	5,89
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,48)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	3474233,352
Nvc (MJ eq) em 50 anos	170122,611

Solução 2

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	231,56
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	0,00
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5088,53
Nic (kWh/m2.ano)	139,56
Ni (kWh/m2.ano)	136,14
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	3197,89
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	536,25
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	774,14
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	5,31
Nv (kWh/m2.ano)	26,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	2,86
Nt (kgep/m2.ano)	5,89
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,49)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	3623708,984
Nvc (MJ eq) em 50 anos	137750,1543

Solução 3

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	126,82
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	26,13
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4823,24
Nic (kWh/m2.ano)	107,79
Ni (kWh/m2.ano)	136,14
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	1985,57
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	295,71
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	774,14
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	8,91
Nv (kWh/m2.ano)	26,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	2,67
Nt (kgep/m2.ano)	5,89
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,45)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	2798756,226
Nvc (MJ eq) em 50 anos	231334,6926

Solução 4

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	134,67
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	25,04
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4833,34
Nic (kWh/m2.ano)	110,61
Ni (kWh/m2.ano)	136,14
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	2202,94
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	445,93
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	774,14
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	9,05
Nv (kWh/m2.ano)	26,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	2,71
Nt (kgep/m2.ano)	5,89
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,46)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	2872049,608
Nvc (MJ eq) em 50 anos	235044,0746

Solução 5

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	251,91
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	0,00
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4934,29
Nic (kWh/m2.ano)	149,33
Ni (kWh/m2.ano)	136,14
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	3186,42
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	914,50
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	774,14
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	8,81
Nv (kWh/m2.ano)	26,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	3,08
Nt (kgep/m2.ano)	5,89
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,52)
Classe Energética	B

Nic (MJ eq) em 50 anos	3877423,355
Nvc (MJ eq) em 50 anos	228664,3552

Solução 6

RESUMO DE RESULTADOS	
Ap (m2)	144,25
Pd (m)	2,75
Aenv (m2)	14,64
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	135,34
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	0,00
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	42,46
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	134,87
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5031,50
Nic (kWh/m2.ano)	98,81
Ni (kWh/m2.ano)	136,14
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	2232,15
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	305,69
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	774,14
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1689,46
Nvc (kWh/m2.ano)	6,90
Nv (kWh/m2.ano)	26,00
Nac (kWh/m2.ano)	14,93
Contribuição de Esolar (kWh/ano)	1359,00
Contribuição de Eren (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,87
Na (kWh/m2.ano)	32,79
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	0,87
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	0,80
Ntc (kgep/m2.ano)	2,51
Nt (kgep/m2.ano)	5,89
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,43)
Classe Energética	A

Nic (MJ eq) em 50 anos	2565682,385
Nvc (MJ eq) em 50 anos	179089,1113

Anexo 2

Balanço energético anual obtido pelo programa SolTerm.

SolTerm 5.1

Licenciado a Maria Fernanda da Silva Rodrigues
()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de coletores

Modelo de coletor: Coletor Padrão RCCTE
4 módulos (4,0 m²)
Inclinação 35° - Azimute -30°

Coeficientes de perdas térmicas: $a_1 = 7,500 \text{ W/m}^2/\text{K}$ $a_2 = 0,014 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$

Rendimento ótico: 69,0%

Modificador de ângulo transversal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35°
40° 45° 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°
1,00 1,00 1,00 0,99 0,99 0,98 0,96
0,95 0,93 0,90 0,87 0,83 0,77 0,68 0,55 0,33 0,00 0,00 0,00

Modificador de ângulo longitudinal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30°
35° 40° 45° 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°
1,00 1,00 1,00 0,99 0,99 0,98 0,96
0,95 0,93 0,90 0,87 0,83 0,77 0,68 0,55 0,33 0,00 0,00 0,00;

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 79,4 l/m² por hora (=0,09 l/s)

Depósito

Modelo: típico 200 l
Volume: 200 l
Área externa: 2,70 m²
Material: médio condutor de calor
Posição vertical
Defletores interiores
Coeficiente de perdas térmicas: 2,70 W/K

Um conjunto depósito/permutador

Tubagens

Comprimento total: 14,0 m
Percurso no exterior: 3,5 m com proteção mecânica
Diâmetro interno: 19,0 mm
Espessura do tubo metálico: 1,5 mm
Espessura do isolamento: 30,0 mm
Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K
Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

RCCTE - residencial - 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
19												
20												
21												
22												
23												
24												
diário	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160

Carga térmica: fim de semana

RCCTE - residencial - 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
19												
20												
21												
22												
23												
24												
diário	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Aveiro

Coordenadas nominais: 40,6°N, 8,6°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (LNEG(2009) www.lneg.pt

solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: testel

Orientação do painel: inclinação 35° - azimute -30°

Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
janeiro	31	43	,	55	260	205
Fevereiro	39	52	,	60	234	174
março	69	87	,	95	260	165
abril	99	110	,	120	251	131

maio	140	140	,	148	260	111
junho	150	141	,	150	251	101
julho	168	164	,	184	260	76
agosto	133	142	,	175	260	84
setembro	87	107	,	137	251	114
outubro	60	79	,	108	260	151
novembro	36	51	,	68	251	183
dezembro	30	45	,	58	260	202
<hr/>						
Anual	1041	1164	,	1359	3056	1697

Fração solar: 44,5%

Rendimento global anual do sistema: 29%
coletor]

Produtividade: 340 kWh/[m²

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)